



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - TE141599**

**PENDEKATAN DENGAN *CUCKOO OPTIMIZATION*  
ALGORITHM UNTUK SOLUSI PERMASALAHAN  
*ECONOMIC EMISSION DISPATCH***

**Agil Dwijatmoko Rahmatullah  
NRP 2213106 0 44**

**Dosen Pembimbing  
Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.  
Daniar Fahmi, ST.,MT.**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya  
2017**



**FINAL PROJECT - TE141599**

**APPROACHING WITH THE CUCKOO OPTIMIZATION  
ALGORITHM FOR SOLUTION ECONOMIC EMISSION  
DISPATCH PROBLEM**

**Agil Dwijatmoko Rahmatullah  
NRP 2213106 0 44**

**Advisors  
Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.  
Daniar Fahmi, ST.,MT.**

**ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY  
Sepuluh Nopember Institut of Technology Surabaya  
2017**

## PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “**Pendekatan dengan Cuckoo Optimization Algorithm untuk Solusi Permasalahan Economic Emission Dispatch**” adalah benar-benar hasil karya mandiri penulis, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang penulis akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, penulis bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 12 Januari 2017

Agil Dwijatmoko Rahmatullah  
NRP. 2213106044


**PENDEKATAN DENGAN *CUCKOO OPTIMIZATION ALGORITHM*  
UNTUK SOLUSI PERMASALAHAN *ECONOMIC EMISSION  
DISPATCH***

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga  
Jurusan Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Menyetujui:**

**Dosen Pembimbing I,**



**Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.**  
**NIP. 197411292000121001**

**Dosen Pembimbing II,**



**Daniar Fahmi, ST., MT.**  
**NIP. 198909252014041002**



# **PENDEKATAN DENGAN *CUCKOO OPTIMIZATION* ALGORITHM UNTUK SOLUSI PERMASALAHAN *ECONOMIC EMISSION DISPATCH***

Agil Dwijatmoko Rahmatullah  
2213106044

Dosen Pembimbing 1 : Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.  
Dosen Pembimbing 2 : Daniar Fahmi, ST., MT.

## **ABSTRAK**

*Economic Dispatch* adalah upaya untuk meminimalkan biaya operasi unit pembangkit dengan tetap memperhatikan batasan teknis dari masing-masing unit pembangkit, harga bahan bakar, biaya pemeliharaan dan lain sebagainya. Di sisi lain, unit pembangkit termal menggunakan bahan bakar fosil sebagai bahan bakar *boiler* untuk membangkitkan energi listrik, sehingga sisa hasil pembakaran dari unit pembangkit ini menghasilkan emisi gas buang yang menyebabkan polusi serta mencemari lingkungan. Melalui dua permasalahan tersebut metode optimasi *algoritma cuckoo* yang diadaptasi dari cara burung *cuckoo* dalam berkembang biak, sarang yang menghasilkan generasi baru *cuckoo* direpresentasikan sebagai solusi baru untuk permasalahan optimasi dalam meminimalkan biaya bahan bakar dan emisi gas buang. Hasil dari metode optimasi *algoritma cuckoo*, pada saat nilai pembobot seimbang yaitu 0,5, untuk fungsi biaya bahan bakar didapatkan 18940,40 dengan pengurangan biaya sebesar 1745,3 dan untuk fungsi emisi didapatkan 839,94 dengan pengurangan emisi sebesar 187,35.

**Kata kunci:** *Economic Emission, Economic Dispatch, Cuckoo Optimization Algorithm*

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

# **APPROACHING WITH THE CUCKOO OPTIMIZATION FOR SOLUTION ECONOMIC EMISSION PROBLEM**

Agil Dwijatmoko Rahmatullah  
2213106044

1. Advisor 1 : Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.
2. Advisor 2 : Daniar Fahmi, ST., MT.

Economic Dispatch is an effort how to minimize operational cost but considering technical limitation or constraint of each generating units Such as fuel cost, maintenace cost, upper power limit and lower power limit . in the otherside, thermal generating units use fossil fuel for boiler to generate power electricity, so the rest of the operation burning boiler that result emission caused pollution and enviroment contaminating. Through two of these issues, cuckoo optimization algorithm that adapted from the way of cuckoo bird to multiply, nest that result new generating solution for the optimization problem that how to minimize cost function and emission function. Example The result of the weight-sum for each value 0.5, cost function is 18940.40 and function cost 1745.3 and the function of emission 839.94 with reduce emission 187.35

**Keyword:** Economic Dispatch, Emission Dispatch, Cuckoo Optimization Algorithm

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah Subhanallahu wa ta'ala yang selalu memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan tepat waktu. Shalawat serta salam semoga selalu dilimpahkan kepada Rasulullah Muhammad Shallallahu 'alaihi wassalam, keluarga, sahabat, dan umat muslim yang senantiasa meneladani beliau.

Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan guna menyelesaikan pendidikan Sarjana pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya yang berjudul:

### **PENDEKATAN DENGAN *CUCKOO OPTIMIZATION* ALGORITHM UNTUK SOLUSI PERMASALAHAN *ECONOMIC* *EMISSION DISPATCH***

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak, Ibu, dan seluruh keluarga yang telah banyak memberikan motivasi dan senantiasa memberikan doa yang tiada hentinya
2. Bapak Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT. dan Bapak Daniar Fahmi, ST., MT. selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan saran serta bimbingan.
3. Bapak Dr. Ardyono Priyadi, S.T., M.Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro ITS serta seluruh dosen Teknik Elektro ITS yang telah memberikan banyak ilmu selama proses perkuliahan..
5. Teman-teman LJ Genap 2013 yang telah memberikan motivasi, doa, dan membantu penulis selama pengerjaan Tugas Akhir.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih memiliki banyak kekurangan, oleh karena itu saran dan masukan sangat diharapkan untuk perbaikan di masa yang akan datang.

Surabaya, Januari 2017

Penulis

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b>	
<b>LEMBAR PERNYATAAN</b>	
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>	
<b>ABSTRAK</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	iii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	v
<b>DAFTAR ISI</b> .....	vii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiii

### **BAB 1 PENDAHULUAN**

1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	1
1.3. Batasan Masalah .....	2
1.4. Tujuan Tugas Akhir .....	2
1.5. Metodologi .....	2
1.6. Sistematika Laporan .....	3
1.7. Relevansi .....	4

### **BAB 2 DASAR TEORI**

2.1. Sistem Tenaga Listrik .....	5
2.1.1 Generator .....	5
2.1.2 Transmisi dan Subtransmisi .....	6
2.1.3 Distribusi .....	6
2.1.4 Beban .....	7
2.2. Karakteristik Unit Pembangkit Termal .....	7
2.3. Multi Objektif Pembebanan Ekonomis dan Peminimalan Emisi ..	9
2.3.1 Pembebanan Ekonomis .....	9
2.3.2 Peminimalan Emisi .....	10
2.4. <i>Cuckoo Optimization Algorithm</i> .....	11

### **BAB 3 PENERAPAN CUCKOO OPTIMIZATION PADA ECONOMIC EMISSION DISPATCH**

3.1. Data Masukkan .....	15
3.2. Penentuan Fungsi Multi Objektif .....	17
3.3.1 Fungsi biaya .....	17
3.3.2 Peminimalan Emisi .....	18

3.3	Inisialisasi <i>Constraint Economic Emission Dispatch</i> .....	18
3.3.1	Inequality Constraint.....	18
3.3.2	Batasan Kapasitas Pembangkitan.....	19
3.3.3	Keseimbangan Daya.....	20
3.4	Solusi Multi Objektif Dengan Metode Weight-sum .....	21
3.5	Simulasi Cuckoo Optimization untuk menyelesaikan EED .....	21
3.6	Inisialisasi awal <i>Cuckoo Optimization Algorithm</i> .....	21
3.7	Hasil Simulasi .....	22

## **BAB 4 SIMULASI DAN ANALISA**

4.1	Hasil Simulasi Cuckoo Optimization Algorithm Pada Economic Emission Dispatch.....	25
4.1.1	Kondisi 1.....	25
4.1.2	Kondisi 2.....	28
4.1.3	Kondisi 3.....	31
4.1.4	Kondisi 4.....	34
4.1.5	Kondisi 5.....	37
4.2	Hubungan Biaya Bahan Bakar dan Emisi .....	40
4.2.1	Hubungan Biaya Bahan Bakar Dan Emisi Dengan Menggunakan Metode <i>Cuckoo Optimization Algorithm</i> ....	40
4.2.2	Hubungan Biaya Bahan Bakar dan Emisi dengan Menggunakan <i>Firefly Algorith</i> .....	42
4.2.3	Hubungan Biaya Bahan Bakar dan Emisi dengan Menggunakan Metode <i>Particle Swarm Optimation</i> .....	43
4.3	Perbandingan Biaya Bahan Bakar dan Emisi Hasil <i>Economic Emission Dispatch</i> .....	45

## **BAB 5 PENUTUP**

5.1	Kesimpulan .....	47
5.2	Saran .....	47

<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	49
-----------------------------	----

<b>BIODATA PENULIS</b> .....	51
------------------------------	----

<b>LAMPIRAN</b> .....	53
-----------------------	----



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Sistem tenaga listrik secara umum.....	5
<b>Gambar 2.2</b>	Karakteristik Input Output Pembangkit Thermal.....	8
<b>Gambar 2.3</b>	Burung Kukuk ( <i>Cuckoo Bird</i> ).....	12
<b>Gambar 2.4</b>	Gambaran Sederhana <i>Cuckoo Search Algorithm</i> .....	13
<b>Gambar 3.1</b>	<i>Single Line Diagram</i> sistem pembangkit interkoneksi Jawa-Bali 500 kV .....	15
<b>Gambar 3.2</b>	<i>Flowchart Cuckoo Optimization Algorithm</i> .....	23
<b>Gambar 4.1</b>	Grafik Hasil Simulasi Biaya terhadap Emisi dengan <i>Cuckoo Optimization Algorithm</i> .....	41
<b>Gambar 4.2</b>	Grafik Hasil Simulasi Biaya terhadap Emisi dengan <i>Firefly Algorithm</i> .....	43
<b>Gambar 4.3</b>	Grafik Hasil Simulasi Biaya terhadap Emisi dengan <i>Particle Swarm Optimation</i> .....	45

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 3.1</b>	Fungsi biaya sistem pembangkit interkoneksi Jawa-Bali .	16
<b>Tabel 3.2</b>	Fungsi emisi sistem pembangkit interkoneksi Jawa-Bali .	16
<b>Tabel 3.3</b>	Total beban berdasarkan waktu pada pembangkit interkoneksi Jawa-Bali (9 Juni 2014) .....	17
<b>Tabel 3.4</b>	Data <i>ramp rate</i> .....	19
<b>Tabel 4.1</b>	Hasil simulasi jam pertama kondisi pertama .....	25
<b>Tabel 4.2</b>	Hasil Jam kedua Kondisi Pertama .....	26
<b>Tabel 4.3</b>	Hasil Jam Ketiga Kondisi Pertama .....	27
<b>Tabel 4.4</b>	Hasil Jam Keempat Kondisi Pertama .....	27
<b>Tabel 4.5</b>	Laju Perubahan Daya Kondisi 1 .....	28
<b>Tabel 4.6</b>	Hasil jam pertama kondisi kedua.....	28
<b>Tabel 4.7</b>	Hasil jam kedua kondisi kedua.....	29
<b>Tabel 4.8</b>	Hasil jam ketiga kondisi kedua.....	30
<b>Tabel 4.9</b>	Hasil jam keempat kondisi kedua.....	30
<b>Tabel 4.10</b>	Laju Perubahan Daya Kondisi 2.....	31
<b>Tabel 4.11</b>	Hasil jam pertama kondisi ketiga .....	31
<b>Tabel 4.12</b>	Hasil jam kedua kondisi ketiga.....	32
<b>Tabel 4.13</b>	Hasil jam ketiga kondisi ketiga .....	33
<b>Tabel 4.14</b>	Hasil jam keempat kondisi ketiga.....	33
<b>Tabel 4.15</b>	Laju Perubahan Daya Kondisi 3.....	34
<b>Tabel 4.16</b>	Hasil jam pertama kondisi keempat.....	34
<b>Tabel 4.17</b>	Hasil jam kedua kondisi keempat.....	35
<b>Tabel 4.18</b>	Hasil jam ketiga kondisi keempat.....	36
<b>Tabel 4.19</b>	Hasil jam keempat kondisi keempat .....	36
<b>Tabel 4.20</b>	Laju Perubahan Daya Kondisi 4.....	37
<b>Tabel 4.21</b>	Hasil jam pertama kondisi kelima .....	37
<b>Tabel 4.22</b>	Hasil jam kedua kondisi kelima.....	38
<b>Tabel 4.23</b>	Hasil jam ketiga kondisi kelima .....	39
<b>Tabel 4.24</b>	Hasil jam keempat kondisi kelima.....	39
<b>Tabel 4.25</b>	Laju Perubahan Daya Kondisi 4.....	40



<b>Tabel 4.26</b>	Hasil Simulasi Total Biaya dan Total Emisi Selama 4 Jam Menggunakan <i>Cuckoo Optimization Algorithm</i> .....	40
<b>Tabel 4.27</b>	Hasil Simulasi Total Biaya dan Total Emisi Selama 4 Jam Menggunakan <i>Firefly Algorith</i> .....	42
<b>Tabel 4.28</b>	Hasil Simulasi Total Biaya dan Total Emisi Selama 4 Jam Menggunakan <i>Particle Swarm Optimization</i> .....	43
<b>Tabel 4.29</b>	Pengurangan Emisi dengan <i>Cuckoo Optimization Algorithm</i> .....	45
<b>Tabel 4.30</b>	Pengurangan Emisi dengan Metode <i>Firefly</i> .....	46
<b>Tabel 4.31</b>	Pengurangan Emisi dengan Metode <i>Particle Swarm Optimization</i> .....	46

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Optimasi dispatch ekonomi klasik (ED) telah menjadi subjek berbagai makalah penelitian sebagai salah satu masalah utama adalah pengoperasian secara ekonomis. Karena pertimbangan lingkungan baru-baru ini, tujuan dari Economic Dispatch Masalah tidak dapat dibatasi hanya meminimalkan biaya bahan bakar saja namun juga emisi gas [1]. Meningkatnya permintaan energi listrik menyebabkan meningkatnya pula listrik yang harus dihasilkan sehingga penambahan unit pembangkitpun juga harus dikembangkan [2]. Energi listrik yang dihasilkan menggunakan berbagai sumber konvensional dan terbarukan termasuk didalamnya air, nuklir, angin, surya, dan energi kinematik pasang surut gelombang air laut. Salah satu bagian utama dari energi listrik di hasilkan dari unit termal yang menggunakan bahan bakar fosil seperti gas, minyak, batu bara [3] [4].

Tujuan dari *economic emission Dispatch* ialah bagaimana meminimalkan biaya operasi masing- masing unit pembangkit serta jumlah emisi gas buang dari masing-masing unit pembangkit termal namun dengan tetap memperhatikan batasan teknis masing masing unit pembangkit. Pada Tugas Akhir ini akan diusulkan *Cuckoo Optimization Algorithm* untuk menyelesaikan permasalahan Economic-emission. Sehingga diperoleh pembangkitan optimal, ekonomis, dan mampu meminimalkan jumlah emisi yang dihasilkan unit pembangkit [5].

### 1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana meminimalkan biaya dan jumlah emisi masing-masing unit pembangkit termal dengan tetap memperhatikan batasan teknis masing –masing unit pembangkit termal tersebut.
2. Bagaimana membuat program pengoptimalan unit pembangkit termal dengan *Cuckoo Optimization Algorithm*.
3. Bagaimana pengaruh dari metode *Cuckoo Optimization* terhadap metode lain.

### 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Hasil Tugas Akhir dalam bentuk simulasi dan analisis perbandingan total hasil dengan metode *PSO* dan *Firefly Algorithm* yang sudah ada dan teruji sebelumnya dengan data yang sama.
2. Simulasi dilakukan dengan menggunakan *software* MATLAB.
3. Analisis dan simulasi dilakukan pada sistem transmisi Jawa-Bali 500 kV tahun 2014, data yang sama yang digunakan pada metode pembandingan .
4. Proses pengambilan hasil pada masing-masing kondisi per jam selama 4 jam dengan beban berbeda tiap jamnya sesuai data.
5. Metode yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan yaitu *Cuckoo Optimization Algorithm* atau *Cuckoo Search Algorithm*
6. Rugi daya diabaikan.

### 1.4 Tujuan Tugas Akhir

Tujuan dari penulisan Tugas Akhir ini adalah :

1. Meminimalkan biaya operasi unit pembangkitan.
2. Meminimalkan emisi gas buang dari unit pembangkit termal yang mencemari lingkungan.
3. Dapat digunakan sebagai parameter untuk dibandingkan dengan metode lain untuk menemukan solusi terbaik pengoptimalan.

### 1.5 Metodologi

Pada Tugas Akhir ini dilakukan penelitian tentang pembangkitan optimal biaya operasi dengan metode *Cuckoo Search Algorithm*. Perhitungan akan dilakukan dengan menggunakan aplikasi perhitungan berbasis matlab. Tahap pengerjaan Tugas Akhir ini adalah:

1. Studi Literatur  
Studi literatur untuk mencari referensi bahan melalui buku, jurnal ilmiah (*paper*), dan *browsing* melalui internet yang

berhubungan dengan judul Tugas Akhir ini. Referensi yang dicari mencakup teori multi objektif economic dispatch sistem pembangkit Jawa-Bali 500 kV melalui metode *Cuckoo Optimization Algorithm*.

2. Pengumpulan Data

Data yang bersangkutan seperti data pembangkitan sistem Jawa-Bali 500kV tahun 2014 serta *Single line diagram*-nya, dan data-data penunjang penggunaan metode *Cuckoo Search Algorithm*.

3. Simulasi Analisa Data

Proses simulasi dilakukan dengan pengambilan data sistem pembangkit Jawa-bali 500 KV tahun 2014 dan dilakukan proses simulasi dengan metode *Cuckoo Optimization Algorithm* yang hasilnya akan dibandingkan dengan hasil metode lain yang telah ada sebelumnya agar didapat kesimpulan.

## 1.6 Sistematika Laporan

Sistematika penulisan dalam Tugas Akhir ini terdiri atas lima bab, dengan uraian sebagai berikut:

BAB 1 : PENDAHULUAN

Bagian ini membahas tentang dasar-dasar penyusunan Tugas Akhir yaitu melingkupi latar belakang, rumusan masalah, tujuan dan batasan masalah, metodologi yang digunakan, sistematika dan relevansi laporan Tugas Akhir ini.

BAB 2 : TINJAUAN PUSTAKA

Bagian ini meliputi teori penunjang yang menjadi acuan Tugas Akhir ini, yaitu pembangkitan optima, prinsip generator, dan

BAB 3 : *CUCKOO OPTIMIZATION ALGORITHM PADA ECONOMIC EMISSION DISPATCH*

Bagian ini berisi proses penjelasan mengenai bagaimana pemodelan simulasi pembangkitan optimum multi objektif dalam Tugas Akhir ini.

BAB 4 : HASIL SIMULASI DAN ANALISIS DATA

Bagian ini membahas mengenai hasil simulasi dan hasilnya dibanding hasil metode lain pada pembangkitan Jawa-Bali 500 kV.

## **BAB 5 : PENUTUP**

Bagian ini meliputi kesimpulan yang diambil dari hasil simulasi dan analisa yang telah dilakukan. Selain itu juga dicantumkan saran agar dapat memberikan perbaikan dan penyempurnaan Tugas Akhir ini.

### **1.7 Relevansi**

Hasil dari Tugas Akhir ini diharapkan mampu memberikan kontribusi berupa masukan terhadap sistem kelistrikan, khususnya dalam optimalisasi multi objektif biaya pembangkitan dan emisi pada sebuah jaringan tenaga listrik. Agar didapatkan hasil yang optimal dalam sistem tersebut.

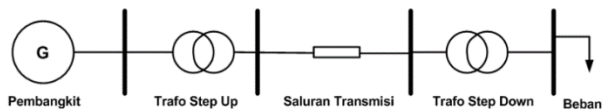
## **BAB 2**

### ***Economic Emission Dispatch***

#### **2.1 Sistem Tenaga Listrik**

Saat ini energi listrik menjadi kebutuhan yang sangat penting dalam kehidupan manusia. Manusia memanfaatkan energi listrik untuk membantu aktivitas sehari-hari. Dalam kesehariannya hampir semua bidang kehidupan manusia menggunakan energi listrik misalnya dalam industri, perumahan dan komersil.

Untuk membangkitkan energi listrik diperlukan suatu sistem yang terdiri dari beberapa bagian. Secara umum bagian – bagian dalam jaringan sistem tenaga listrik, dibagi menjadi : generator, transmisi dan subtransmisi, distribusi dan beban. Bagian-bagian tersebut merupakan satu kesatuan, energi yang dibangkitkan oleh generator disalurkan oleh saluran transmisi untuk selanjutnya didistribusikan ke beban - beban. Gambaran umum sistem tenaga listrik dapat dilihat pada gambar 2.1 berikut:



**Gambar 2.1** Sistem tenaga listrik secara umum

##### **2.1.1 Generator**

Generator merupakan salah satu komponen penting dalam sistem tenaga listrik. Ada beberapa tipe dari generator tetapi yang paling sering digunakan dalam sistem tenaga listrik adalah generator 3 phase atau sering disebut juga dengan *synchronous generator*.

Pada *synchronous generator* terdapat 2 medan sinkron yang berputar. Dari kedua medan sinkron tersebut, medan yang pertama dihasilkan oleh putaran rotor dan dieksitasi oleh arus DC. Sementara untuk medan yang kedua dihasilkan oleh arus jangkar tiga phase pada belitan *stator*. Untuk menggerakkan generator dibutuhkan *primeover*. Sementara itu ada beberapa macam *primeover* yang digunakan untuk

menggerakan turbin, seperti turbin hidrolik yang digerakan oleh air terjun, turbin uap yang menggunakan sumber energi hasil pembakaran batubara dan lain sebagainya.

Jaringan transmisi digunakan untuk mentransfer energi listrik yang dihasilkan oleh generator ke jaringan distribusi yang nantinya digunakan untuk memasok listrik ke beban. Jaringan transmisi saling terhubung satu sama lain, yang dapat saling mentransfer energi listrik. Untuk saling mentransfer listrik dilakukan jika pada saat keadaan darurat dan memenuhi syarat *economic dispatch*. Terdapat beberapa standart tegangan transmisi berdasarkan ANSI (*American National Standards Institute*). Untuk standard tegangan jaringan transmisi adalah lebih dari 60 kV seperti 69 KV, 115 KV, 138KV, 161KV, 230KV, 345KV, 500KV dan 765KV line-to-line.

### **2.1.2 Transmisi dan Subtransmisi**

Jaringan transmisi digunakan untuk mentransfer energi listrik yang dihasilkan oleh generator ke jaringan distribusi yang nantinya digunakan untuk memasok listrik ke beban. Jaringan transmisi saling terhubung satu sama lain, yang dapat saling mentransfer energi listrik. Untuk saling mentransfer listrik dilakukan jika pada saat keadaan darurat dan memenuhi syarat *economic dispatch*. Terdapat beberapa standart tegangan transmisi berdasarkan ANSI (*American National Standards Institute*). Untuk standard tegangan jaringan transmisi adalah lebih dari 60 kV seperti 69 KV, 115 KV, 138KV, 161KV, 230KV, 345KV, 500KV dan 765KV line-to-line.

### **2.1.3 Distribusi**

Bagian dari sistem distribusi yaitu dimulai dari gardu distribusi ke pelanggan jaringan distribusi primer biasanya menggunakan tegangan 4 KV sampai dengan 34 KV dan digunakan untuk memenuhi kebutuhan beban di berbagai tempat. Untuk memenuhi kebutuhan beban beberapa pelanggan industri kecil dapat langsung menggunakan *feeder* utama. Pada jaringan distribusi sekunder digunakan untuk memenuhi kebutuhan beban dari pelanggan pada berbagai macam level beban. Dalam jaringan distribusi terdapat dua sistem, yaitu sistem overhead dan underground. Pada sistem *overhead* energi listrik ditransmisikan lewat kabel yang terpasang di udara, sementara pada sistem underground energi listrik ditransmisikan lewat kabel yang tertanam di dalam tanah.

#### 2.1.4 Beban

Beban pada sistem tenaga listrik terbagi menjadi beberapa macam seperti beban industri, beban komersil dan beban perumahan. Untuk beban industri yang sangat besar disuplai dengan menggunakan sistem transmisi. Untuk beban industri besar disuplai dengan menggunakan sistem subtransmisi dan untuk beban industri kecil disuplai dengan menggunakan sistem distribusi primer. Pada beban industri didominasi oleh beban komposit dan beban motor induksi dengan jumlah yang banyak. Sementara pada beban komersil dan perumahan didominasi oleh beban untuk lampu-lampu penerangan, penghangat dan juga pendingin ruangan.

#### 2.2 Karakteristik Unit Pembangkit Termal

Perbedaan energi primer dan tingkat efisiensi menyebabkan biaya produksi dari masing-masing pembangkit menjadi berbeda. Sedangkan perbedaan karakteristik teknis menyebabkan posisi pembangkit dalam mensuplai beban sistem menjadi berbeda, yang umumnya dikelompokkan menjadi tiga segmen, yaitu pembangkit pemikul beban dasar (*base load*), pemikul beban menengah (*load follower*) dan pemikul beban puncak (*peaker*).

Pembangkit dengan karakteristik yang kurang fleksibel yaitu pembangkit yang tidak dapat dihidupkan atau dimatikan dalam waktu yang singkat serta lambat dalam menaikkan dan menurunkan pembebanan mengharuskan pembangkit untuk dioperasikan sepanjang pembangkit siap. Pembangkit kelompok ini digolongkan ke dalam pembangkit *base load*. Disamping keterbatasan teknis, ikatan kontrak pembelian bahan bakar berupa *take or pay*, terkadang menjadi alasan mengapa pembangkit digolongkan sebagai pembangkit *base – load*. Pembangkit *base – load* biasanya berskala besar dan memiliki biaya produksi yang lebih murah dibandingkan dengan kelompok pembangkit lainnya.

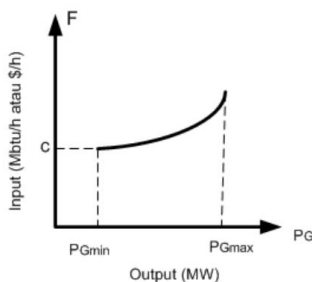
Pembangkit *base load* umumnya dioperasikan pada kapasitas terpasang maksimum sepanjang pembangkit tersebut siap serta sesuai dengan kesiapan sistem penyaluran. Pembangkit jenis ini contohnya adalah PLTU batubara, pembangkit yang terikat kontrak *take or pay* bahan bakar seperti PLTP, serta pembangkit hidro yang memiliki sumber air yang hanya akan ekonomis bila dioperasikan, seperti pembangkit *hidro run off river*. Pembangkit kelompok *load follower* meliputi pembangkit yang lebih fleksibel namun lebih mahal dari



pembangkit *base load*, seperti PLTGU gas dan PLTU minyak. Pembangkit yang difungsikan sebagai pemikul beban puncak meliputi pembangkit yang fleksibel baik dalam kecepatan perubahan pembebanan maupun *start stop* pembangkit dan umumnya berskala dibawah 100 MW seperti PLTG minyak, PLTD serta PLTA waduk.

Fungsi biaya pembangkitan dari pembangkit thermal diperoleh dari dari karakteristik *input-output* pembangkit. Fungsi biaya yang digunakan adalah dalam bentuk *Btu per hour* (Btu/h) atau (Mbtu/h). Dimana biaya pembangkitan (Btu/h) adalah besarnya biaya (Rupiah) bahan bakar setiap jam (Rupiah/jam) yang dibutuhkan oleh unit generator. Hasil *output* dari unit generator direpresentasikan sebagai dengan satuan Megawatt (MW). Disamping biaya bahan bakar, biaya operasi tiap unit juga meliputi biaya tenaga kerja, biaya *maintenance* pembangkit, biaya transportasi dari bahan bakar. Biaya-biaya operasi tiap unit tersebut direpresentasikan sebagai biaya tetap (*fixed cost*) dan tidak dimasukkan sebagai fungsi biaya pembangkitan.

Umumnya unit pembangkit thermal terdiri dari boiler, turbin uap dan generator. Input dari boiler adalah bahan bakar dan outputnya adalah *volume* dari uap. Input dari turbin 11 generator adalah *volume* dari uap dan outputnya adalah energi listrik. Dari *input-output* tersebut dapat digambarkan dalam suatu Kurva *convex* (cembung). Sehingga dapat dianalisa bahwa karakteristik *input-output* dibatasi oleh kapasitas pembangkitan minimal dan maksimal dari masing-masing unit generator. Karakteristik *input-output* dari pembangkit thermal ditunjukkan pada gambar 2.2 berikut:



**Gambar 2. 2** Karakteristik Input Output Pembangkit Thermal

Umumnya, karakteristik *input-output* dari unit pembangkit berbentuk *non-linear*. Persamaan fungsi biaya *output* dari unit generator berbentuk fungsi kuadrat.

### 2.3 Multi objektif Pembebanan Ekonomis dan Peminimalan Emisi

Multi objektif Pembebanan Ekonomis dan Peminimalan Emisi Adalah upaya untuk untuk meminimalkan biaya pembangkitan serta pengurangan emisi yang dihasilkan pembangkit.

#### 2.3.1 Pembebanan Ekonomis

Pembebanan Ekonomis atau *Economic Dispatch* adalah pembagian pembebanan unit – unit pembangkit yang ada pada sistem secara optimal Ekonomis pada harga beban sistem tertentu . Dengan penerapan pembebanan ekonomis maka akan didapatkan biaya pembangkitan yang minimum. Persamaan fungsi biaya pembangkitan adalah sebuah fungsi kuadrat. Persamaan dari fungsi biaya dapat dilihat pada persamaan (2.1) berikut:

$$F_{ci}(P) = \sum_{i=1}^N (a_i + b_i P_i + c_i P_i^2) \quad (2.1)$$

Keterangan

$a_i, b_i, c_i$  : Konstanta *input-output* pembangkit termal ke- $i$  (Rp/MW jam)

$P_i$  : daya *output* pembangkit termal ke- $i$  (MW)

$F_{ci}(P)$  : Biaya bahan bakar pembangkit ke- $i$

$i$  : Indeks Pembangkitan ke- $i$  ( $i = 1, 2, 3 \dots N$ ).

Total biaya produksi pada  $n$  unit pembangkit dapat diperoleh sebagai berikut:

$$\begin{aligned} F_{cT} &= F_1 + F_2 + F_3 \dots F_N \\ F_{cT} &= \sum_{i=1}^N (F_{ci}(P)) \end{aligned} \quad (2.2)$$

Keterangan

$F_{cT}$  = total biaya pembangkitan

$N$  = banyaknya total pembangkitan

Terdapat beberapa *constrain* dalam menyelesaikan *Economic Dispatch* yaitu *generating capacity constrain* dan *power balance constrain*, yang dijelaskan seperti berikut:

Untuk pengoperasian secara normal daya *output* tiap generator dibatasi oleh batas minimum dan batas maksimum yang dapat dilihat pada persamaan (2.2) berikut:

$$P_{Gi}min \leq P_{Gi} \leq P_{Gi}max \quad (2.3)$$

Keterangan :

$P_{Gi}min$  : Daya pembangkitan minimum masing-masing unit Pembangkit

$P_{Gi}max$  : Daya pembangkitan maksimum masing-masing unit pembangkit

Dimana  $Pmin$  adalah kapasitas pembangkitan minimum generator unit ke-i  $Pmax$ , adalah kapasitas pembangkitan maksimum generator unit ke- i.

### 2.3.2 Peminimalan Emisi

Unit pembangkit termal umumnya menyebabkan polusi udara yang mencemari lingkungan. Objektif permasalahan *economic emission dispatch* adalah bagaimana membangkitkan daya optimum juga meminimalkan emisi. Pada Tugas Akhir ini emisi yang dipertimbangkan adalah karbon dioksida ( $NO_2$ ). Seperti yang dijelaskan pada persamaan 2.4 berikut ;

$$Fc(P) = \sum_{i=1}^N (d_i + e_i P_i + f_i P_i^2) \quad (2.4)$$

Keterangan persamaan:

$d_i, e_i, f_i$  : *Emission function*

Karena multi objektif pengurangan emisi operasi optimum pembangkitan *economic dispatch* secara simultan maka, dua fungsi objektif ini harus dijadikan satu seperti persamaan 2.5 berikut:

$$F = W_c.FcT + W_s.FeT \quad (2.5)$$

Keterangan :

F : fungsi tujuan

$FcT$  : total biaya bahan bakar masing pembangkitan dalam sistem (Rupiah)

$FeT$  : total emisi bahan bakar masing pembangkitan dalam sistem (Gram)

$Wc$  : nilai pembobot untuk fungsi biaya bahan bakar

$Ws$  : nilai pembobot untuk fungsi emisi bahan bakar

Jumlah total dari masing – masing koefisien pembobot yaitu satu, besarnya nilai koefisien menunjukkan prioritas

## 2.4 Cuckoo Optimization Algorithm

Optimasi dengan *Cuckoo Optimization* merupakan salah satu metode metaheuristik yang di terapkan pada Tugas Akhir ini. Metode ini diadaptasi dari cara burung kukuk untuk memilih sarang terbaik untuk menghasilkan generasi baru. Generasi baru ini merupakan solusi dari nilai fitness terbaik.

Burung Kukuk (*Cuckoo*) merupakan jenis burung yang menarik, bukan hanya karena suaranya yang merdu tetapi karena strategi reproduksi mereka yang agresif. Gambar 2.3 menunjukkan bentuk fisik burung Kukuk. Beberapa spesies seperti burung Kukuk (*Cuckoo*) Ani dan Guira bertelur di sarang komunal (bersama) meskipun mereka dapat menghapus telur lain untuk meningkatkan kemungkinan penetasan telur mereka sendiri. Cukup banyak spesies burung Kukuk (*Cuckoo*) menggunakan pengeraman parasit obligat dengan cara meletakkan telur mereka ke dalam sarang burung tuan rumah. Terdapat tiga tipe dasar dari pengeraman parasit antara lain pengeraman parasit intraspesifik, pengeraman kooperatif, dan pengambil alihan sarang.

Beberapa burung tuan rumah dapat terlibat konflik langsung dengan burung Kukuk (*Cuckoo*) pengganggu. Jika burung tuan rumah mengetahui bahwa telur tersebut bukan miliknya, mereka akan melemparkan telur asing tersebut atau meninggalkan telur tersebut dan membangun sarang ditempat baru. Selain itu, waktu bertelur beberapa spesies burung kukuk *cuckoo* juga menakjubkan. Burung Kukuk (*Cuckoo*) parasit seringkali memilih sarang dimana burung tuan rumah hanya meletakkan telurnya sendiri. Secara umum, telur burung Kukuk (*Cuckoo*) menetas sedikit lebih awal daripada telur burung tuan rumah. Setelah burung Kukuk (*Cuckoo*) pertama menetas, tindakan naluri pertama yang akan dilakukannya adalah mengusir telur burung tuan

rumah dengan mendorong telur keluar dari sarang. Hal ini meningkatkan jumlah makanan yang telah disediakan oleh burung tuan rumah (*host*) bagi anak burung Kukuk (*Cuckoo*). Studi juga telah menunjukkan bahwa anak burung Kukuk (*Cuckoo*) dapat menirukan suara anak burung tuan rumah (*host*) untuk meningkatkan kesempatan mendapatkan makanan.



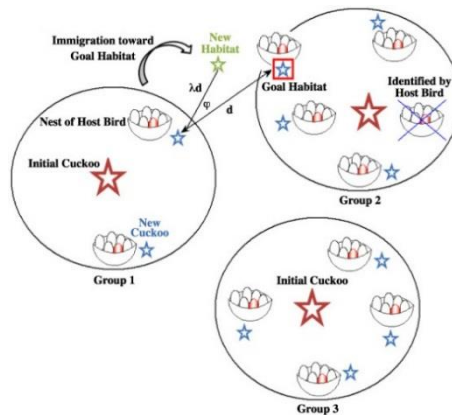
**Gambar 2.3** Burung Kukuk (*Cuckoo Bird*)

Algoritma *Cuckoo Search* (CS) adalah salah satu algoritma metaheuristik yang dikembangkan pada tahun 2009 oleh Xin-She Yang dan Suash Deb. *Cuckoo Search* berdasarkan pada perkembangbiakan parasit dari sebagian spesies burung Kukuk (*Cuckoo*). Selain itu, algoritma ini ditingkatkan oleh apa yang disebut *Levy flight*, bukan oleh langkah acak (*random walk*) sederhana isotropik. Agar mudah dalam memahami *Cuckoo Search*, perhatikan tiga aturan berikut ini :

1. Setiap burung Kukuk (*Cuckoo*) meletakkan satu telur dalam satu waktu telurnya ke sarang yang telah dipilih secara acak
2. Sarang terbaik dengan kualitas telur terbaik akan terbawa ke generasi selanjutnya
3. Jumlah sarang burung tuan rumah yang tersedia bersifat tetap , probabilitas telur yang telah diletakkan oleh burung Kukuk (*Cuckoo*) dan ditemukan oleh burung tuan rumah dijabarkan dengan  $p \in [0,1]$ . Dalam kasus ini burung tuan rumah dapat

membuang telur tersebut atau meninggalkan sarang dan membangun sarang di tempat yang baru.

Sebagai pendekatan lebih lanjut, asumsi pada poin nomor 3 dapat didekati dengan fraksi  $p_a$  dari sarang burung tuan rumah yang digantikan oleh sarang baru (menggunakan solusi random baru). Gambar 2.4 menjelaskan gambaran sederhana dari *Cuckoo Search Algorithm*.



**Gambar 2.4** Gambaran Sederhana *Cuckoo Search Algorithm*

Dalam masalah maksimisasi, kualitas atau kesesuaian dari solusi hanya dapat sebanding dengan nilai fungsi tujuan. Bentuk lain dari kesesuaian dapat didefinisikan dengan cara yang sama dengan fungsi *fitness* dalam algoritma genetika. Dalam pelaksanaan, kita dapat menggunakan representasi sederhana berikut bahwa setiap telur di sarang merupakan solusi, dan masing-masing burung Kukuk (*Cuckoo*) dapat meletakkan hanya satu telur (mewakili satu solusi), tujuannya adalah untuk menggunakan solusi yang baru dan lebih berpotensi untuk menggantikan solusi yang tidak begitu baik dalam sarang. Untuk saat ini, kita akan menggunakan pendekatan yang paling sederhana di mana setiap sarang hanya memiliki satu sel telur. Dalam hal ini, tidak ada perbedaan antara telur, sarang atau burung Kukuk (*cuckoo*), karena

setiap sarang sesuai dengan satu telur yang juga menggambarkan satu burung Kukuk.

Berdasarkan tiga aturan tersebut langkah dasar dari *Cuckoo Search* (CS) dapat diringkas sebagai berikut :

$$x_i^{(t+1)} = x_i^{(t)} + \alpha \oplus \text{L'evy}(\lambda), \quad (2.6)$$

Dimana  $x_i^{(t+1)}$  adalah generasi solusi baru,  $i$  adalah burng kukuk ke- $i$ .  $\alpha > 0$  adalah ukuran langkah yang seharusnya berhubungan dengan skala kepentingan masalah tersebut. Dalam kebanyakan kasus dapat digunakan  $\alpha = O(L/10)$ ,  $L$  adalah karakteristik skala kepentingan masalah.

Persamaan 2.6 merupakan persamaan stokastik untuk langkah acak (*random walk*). Secara umum, langkah acak (*random walk*) adalah rantai Markov yang status / lokasi berikutnya hanya tergantung pada lokasi saat ini dan probabilitas transisi . Lambang  $\oplus$  berarti perkalian entrywise. *Pseudocode* dari *Cuckoo Search Algorithm* (CSA) dapat dijabarkan sebagai berikut :

```

Objective function  $f(x), x = (x_1, \dots, x_d)^T$ 
Generate initial population of  $n$  host nesys  $x_i$ 
while ( $t < \text{MaxGeneration}$ ) or (stop criterion)
    Get a cuckoo randomly/generate a solution by Levy flights
    And then evaluate its quality/fitness  $F_i$ 
    Choose a nest among  $n$  (say,  $j$ ) randomly
    if ( $F_i > F_j$ ),
        Replace  $j$  by the new solution
    end
    A fraction ( $p_a$ ) of worse nests are abandoned
    And new omes/solutions are built/generated
    Keep best solutions (or nests with quality solutions)
    Rank the solutions and find the current best
end while
Postprocess results and visualization

```

Pada Tugas Akhiri ini Metode *Cuckoo Optimization Algorithm* ini diterapkan pada economic emission dispatch untuk mencari hasil fungsi biaya dan fungsi emisi masing-masing unit pembangkit

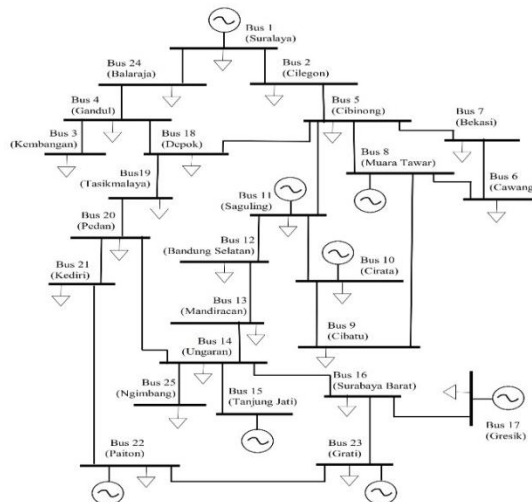
### BAB 3

## PENERAPAN *CUCKOO OPTIMIZATION* PADA *ECONOMIC EMISSION DISPATCH*

Dalam Tugas Akhir ini Algoritma *cuckoo optimization* merupakan metode yang akan digunakan dalam *economic dispatch* menyelesaikan perhitungan biaya ekonomis serta perhitungan emisi dengan mempertimbangkan waktu per empat jam serta batasan daya tiap jamnya. Plan yang akan digunakan pada Tugas Akhir ini adalah sistem Jamali 2014 500 kV diambil tanggal 9 Juni 2014

### 3.1 Data Masukkan

Data sistem yang digunakan pada simulasi ini menggunakan sistem pembangkit interkoneksi Jawa-Bali pada jaringan transmisi 500 kV. Sistem ini terdiri dari 8 generator dengan 25 sistem bus. Jenis pembangkit pada sistem ini yaitu termal dan hidro, dimana terdiri dari 6 pembangkit jenis termal dan 2 pembangkit jenis hidro. Untuk lebih jelas, Single Line Diagram pembangkit interkoneksi Jawa-Bali dapat dilihat pada Gambar 3.1.



**Gambar 3.1** *Single Line Diagram* sistem pembangkit interkoneksi Jawa-Bali 500 kV



Untuk data fungsi pembiayaan pembangkitan pada sistem pembangkit interkoneksi Jawa-Bali 500 kV dapat dilihat pada Tabel 3.1.

**Tabel 3.1** Fungsi biaya sistem pembangkit interkoneksi Jawa-Bali

Unit Pembangkit	Fungsi Biaya			Pmin (MW)	Pmax (MW)
	A	B	C		
Suralaya	44.455.587,75	391.059,27	- 11.008.313,00	1610	4200
Muaratawar	447.887.239,80	673.189,59	-5.565.550,00	934	2308
Cirata	0	6.000,00	0	404	1008
Saguling	0	660,00	0	208	700
Tanjung Jati	192.669.508	125.456,19	35,80	848	2119
Gresik	78.152.917,59	459.705,07	7,59	1149	2872
Paiton	17.209.148,67	382.129,48	-19,37	1080	2700
Grati	25.244.481,54	371.803,55	8,09	360	900

Sedangkan untuk data fungsi emisi pembangkitan pada sistem pembangkit interkoneksi Jawa-Bali 500 kV dapat dilihat pada Tabel 3.2

**Tabel 3.2** Fungsi emisi sistem pembangkit interkoneksi Jawa-Bali

Unit Pembangkit	Fungsi Emisi		
	A	B	C
Suralaya	-6,53435	232126,27	26388095,96
Muaratawar	-0,7737	93584	62263614,5
Cirata	0	0	0
Saguling	0	0	0
Tanjung Jati	25,157815	8816,75	135397090,2
Gresik	1,62795	98632	16768083
Paiton	-13,266773	261721,95	11786612,11
Grati	2,467	113442,5	7702435,5

Rekam data total daya beban pada sistem pembangkit interkoneksi Jawa-Bali diambil dalam empat waktu, yaitu pada pukul 18.00, 19.00, 20.00, dan 21.00. Data total beban pada tanggal 9 Juni 2014 dapat dilihat pada Tabel 4.3.

**Tabel 3.3** Total beban berdasarkan waktu pada pembangkit interkoneksi Jawa-Bali (9 Juni 2014)

Pukul	Beban (MW)
18.00	13096
19.00	13108
20.00	12863
21.00	12228

### 3.2 Penentuan Fungsi Multi Objektif

Pada sub bab ini akan menjelaskan tentang penentuan fungsi multi objektif untuk penerapan *cuckoo optimization* pada *economic emission dispatch*, karena terdapat dua kasus yang hendak diminimalkan maka adapun fungsi yang digunakan adalah sebagai berikut .

#### 3.2.1 Fungsi Biaya

Fungsi objektif yang pertama dalam permasalahan EED (*Economic Emission Dispatch*) adalah fungsi biaya pembangkitan. Berikut persamaan yang digunakan :

$$Fc(P) = \sum_{i=1}^N (a_i + b_i P_i + c_i P_i^2) \quad (3.3)$$

Keterangan:

$a_i, b_i, c_i$  : *Cost function*

$P_i$  : Output daya dari masing-masing pembangkit dalam MW

Dengan total biaya pembangkitan pada n unit pembangkit dapat diperoleh sebagai berikut:

$$FcT = F_{c1} + F_{c2} + F_{c3} \dots F_{cN} \quad (3.4)$$

$$FcT = \sum_{i=1}^N N(Fc_i(P))$$

Keterangan

$FcT$  = total biaya pembangkitan

$N$  = banyaknya total pembangkitan

### 3.2.2 Fungsi Emisi

Fungsi objektif kedua yaitu fungsi emisi pada masing-masing unit dengan satuan gram tiap jamnya. Berikut persamaan fungsi emisi:

$$Fe(P) = \sum_{i=1}^N (d_i + e_i P_i + f_i P_i^2) \quad (3.5)$$

Keterangan:

$d_i, e_i, f_i$  : Emission function

Dengan total emisi pembangkitan pada n unit pembangkit dapat diperoleh sebagai berikut:

$$\begin{aligned} FeT &= F_{e1} + F_{e2} + F_{e3} \dots F_{eN} \\ FeT &= \sum_{i=1}^N N(Fe_i(P)) \end{aligned} \quad (3.6)$$

Keterangan

$FeT$  = total emisi pembangkitan

$N$  = banyaknya total pembangkitan

### 3.3 Inisialisasi Constraint Economic Emission Dispatch

Dalam pengoperasian pembebanan ekonomis dan meminimalan emisi tidak terlepas dari beberapa batasan yang harus dipatuhi supaya sistem berjalan stabil. Berikut masing –masing batasan tersebut.

#### 3.3.1 Inequality Constraint

Untuk menstabilkan sistem pembangkitan maka masing masing pembangkitan dibatasi oleh pembangkitan maksimal dan pembangkitan minimal masing-masing unitnya. Seperti yang ditunjukkan oleh persamaan 3.12 berikut ini :

$$P_{Gi}min \leq P_{Gi} \leq P_{Gi}max \quad (3.7)$$

Keterangan:

$P_{Gmin}$  : Daya pembangkitan minimum masing-masing unit Pembangkit

$P_{Gmax}$  : Daya pembangkitan maksimum masing-masing unit pembangkit

### 3.3.2 Batasan Kapasitas Pembangkitan

Daya pembangkitan tidak boleh melebihi batas dari *ramp limit* untuk masing masing unit.

$$\text{Max}(P_{i \min}, P_i^{t-1} - \text{ramp}) \leq P_i^{t-1} \leq \text{min}(P_{i \min}, P_i^{t-1} + \text{ramp}) \quad (3.8)$$

Dengan adanya *ramp constrain* maka kapasitas *constraint* pembangkitan jam ke-1 akan berubah menjadi maksimum dan minimum.

Untuk persamaan maksimum,

$$P_{i \min} = \text{max}(P_{i \min}, P_i^{t-1} - \text{ramp}) \quad (3.9)$$

Untuk persamaan minimum,

$$P_{i \min} = \text{max}(P_{i \min}, P_i^{t-1} + \text{ramp}) \quad (3.10)$$

Data ramp rate yang digunakan masing masing pembangkit sebagai berikut

**Tabel 3.4** Data *ramp rate*

No	Pembangkit	Ramp rate
1	Suralaya	300
2	Muaratawar	510
3	Cirata	930
4	Saguling	660
5	Tanjung jati	337
6	Gresik	420
7	Paiton	240
8	Grati	420

Dari data diatas semisal suralaya dengan ramp up 300 dan ramp down 300 dengan daya yang dihasilkan pembangkit suralaya sebesar

1500 MW, sedangkan batas maksimal generator 1700 MW dan pembangkit minimal 300 MW,

Maka

$P_{Gi\max}$  jam berikutnya =  $1500 + 300 = 1800$  MW.

$P_{Gi\min}$  jam berikutnya =  $1500 - 300 = 1200$  MW.

Namun karena pembangkit pada jam sebelumnya maksimal hanya 1700 MW maka pada jam berikutnya yang digunakan tetap 1700 MW hal ini dikarenakan kemampuan pembangkit berikutnya harus sama atau lebih kecil dari kapasitas jam pertama.

### 3.3.3 Keseimbangan Daya

Daya total pembangkitan harus sesuai dengan daya total beban, sesuai dengan persamaan 3.7 berikut ini:

$$\sum P_i = P_d \quad (3.11)$$

Keterangan :

$P_d$  : Total Daya

$P_i$  : daya yang dibangkitkan masing – masing pembangkit

### 3.4 Solusi Multi Objektif Dengan Metode *Weight-sum*

*Weight sum method* merupakan salah satu teknik paling sederhana untuk penyelesaian optimasi multi objektif yang menggabungkan beberapa fungsi objektif menjadi satu kesatuan, dengan cara perkalian masing-masing fungsi obyektif dengan koefisien pembobot *weight* masing-masing fungsi objektif .

Pada Tugas Akhir ini ada dua fungsi objektif yang digunakan untuk meminimalkan biaya bahan bakar dan untuk meminimalkan emisi  $\text{NO}_2$ . berikut adalah persamaan yang digunakan:

$$F = W_c.F_{ct} + W_s.F_{et} \quad (3.12)$$

Dimana :

$F$  : fungsi tujuan

$F_{ct}$  : total biaya bahan bakar masing pembangkitan dalam sistem (Rupiah)

*Fet* : total emisi bahan bakar masing pembangkitan dalam sistem (Gram)

*Wc* : nilai pembobot untuk fungsi biaya bahan bakar

*Ws* : nilai pembobot untuk fungsi emisi bahan bakar

Jumlah total dari masing – masing koefisien pembobot yaitu satu, besarnya nilai koefisien menunjukkan prioritas.

### 3.5 Simulasi *Cuckoo Optimization* untuk menyelesaikan EED

Dalam sub bab ini digunakan metode penyelesaian COA untuk mencari penyelesain dua kombinasi biaya dan emisi secara standar seperti berikut.

1. Inisialisasi parameter serta batasan jumlah populasi sarang sarang *cuckoo*
2. Program melakukan penghitungan nilai biaya bahan bakar dan nilai biaya emisi
3. Biaya emisi dan biaya bahan bakar yang telah dikalikan nilai pembobot kemudian dijumlah
4. Dicari nilai fitness
5. Update nilai fitness dengan *levy flight*
6. Evalusai nilai fitness akhir
7. Proses berlanjut sampai iterasi berlangsung

### 3.6 Inisialisi awal *Cuckoo Optimization Algorithm*

Jumlah populasi *nest* (n) sarang yang akan dipilih burung *cuckoo* untuk meletakkan telur mewakili jumlah daya *output* masing-masing unit yang direpresentasikan.

$$nest(i,:) = Lb + (Ub - Lb) \cdot rand(size(Lb)) \quad (3.9)$$

Keterangan:

Ub yaitu batas bawah dan Lb batas atas pembangkitan tiap unit

Untuk langkah selanjutnya membangkitkan generasi baru menggunakan jalur *levy flight*. *Levy fight* adalah jalur burung *cuckoo* untuk menemukan sarang baru . Solusi baru dihitung

berdasarkan pada inisialisasi sebelumnya atau sejumlah sarang sebelumnya yang kemudian dipilih lagi jalur *cuckoo* untuk pemilihan sejumlah sarang yang baru.

$$X_i^{\text{new}} = X_{\text{best}_i} + \alpha \times \text{rand} \times 2 \times \Lambda X_i^{\text{new}} \quad (3.13)$$

Kemungkinan burung lain menemukan telur *cuckoo* pada sarang burungnya untuk memilih meninggalkan sarang dan membangun sarang baru atau menendang keluar telur burung *cuckoo* juga merupakan solusi baru kemungkinan ini direpresentasikan  $P_a$ , berikut adalah persamaan yang digunakan:

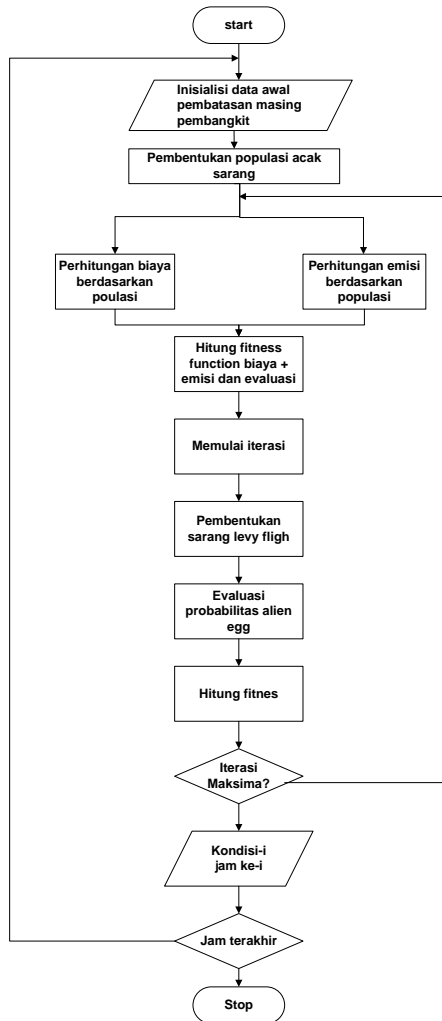
$$X_i^{\text{dis}} = X_{\text{best}_i} + K \times \Lambda X_i^{\text{dis}} \quad (3.14)$$

Dimana  $K$  adalah koefisien update yang ditentukan oleh kemungkinan burung menemukan telur asing disarangnya

Jika sarang random yang dipih kurang dari nilai kemungkinan maka nilai  $K$  adalah satu artinya faktor kemungkinan besar mendapat kan solusi baru disimpan begitu juga sebaliknya.

### 3.7 Hasil Simulasi

Hasil simulasi menggunakan metode *Cuckoo* Ini berupa total biaya pembangkitan dan biaya emisi masing masing kondisi perempat jam. Untuk mempermudah dalam simulasi maka dibuatlah *flowchart* seperti yang ditunjukkan oleh gambar 3.2



**Gambar 3.2** *Flowchart Cuckoo Optimization Algorithm*



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB 4

### SIMULASI DAN ANALISA

Pada Tugas akhir dilakukan simulasi menggunakan *software matlab* dengan data sistem jawa bali seperti yang dijelaskan pada bab 3 sebelumnya, maka diperoleh hasil dan analisa yang akan di bahas pada bab berikut.

#### 4.1 Hasil Simulasi Cuckoo Optimization Algorithm Pada Economic Emission Dispatch

Pada sub-bab ini, parameter yang digunakan pada simulasi dengan menggunakan metode *Cuckoo Optimization Algorithm* untuk *economic emission dispatch* yaitu dengan menggunakan nilai  $n=25$ . Sedangkan untuk merepresentasikan solusi pertama yang mengandalkan jumlah sarang seperti yang telah dipaparkan pada bab sebelumnya akan dievaluasi sebanyak 150 kali (iterasi).

Simulasi dilakukan dengan mengasumsikan adanya lima kondisi yang berdasarkan pada nilai pembobot berdasarkan fungsi waktu serta fungsi emisi. Sehingga nantinya akan diperoleh biaya pembangkitan dan jumlah emisi dari masing-masing pembangkit berdasarkan waktu yang direkam pada tanggal 9 Juni 2014 (lihat Tabel 4.3).

##### 4.1.1 Kondisi 1

Pada kondisi 1 nilai pembobot untuk fungsi biaya bernilai satu ( $W_c=1$ ) dan fungsi emisi bernilai nol ( $W_s=0$ ). Pada jam pertama total masing-masing pembangkitan terpenuhi beban nya sebesar 13.096 MW. Nilai ini membuktikan keseimbangan daya antara pembangkitan dan beban terpenuhi. Biaya total yang diperlukan pembangkit berdasarkan simulasi dengan COA adalah sebesar 4.727.320.554 Rp/Jam. Sedangkan total emisi dari hasil pembakaran adalah sebesar 2.615.058.031 gram/jam. Hasil simulasi pada jam pertama dapat dilihat pada Tabel 4.1

**Tabel 4.1** Hasil simulasi jam pertama kondisi pertama

Jam ke 1	Daya (MW)	Biaya (Rupiah/jam)	Emisi (Gram/jam)
Suralaya	3.152	1.167.697.542	716.642.898
Muaratawar	976	1.099.705.231	155.794.562
Cirata	835,9	5.015.306,27	0

**Tabel 4.1** Hasil simulasi jam pertama kondisi pertama(Lanjutan)

<b>Jam ke 1</b>	<b>Daya (MW)</b>	<b>Biaya (Rupiah/jam)</b>	<b>Emisi (Gram/jam)</b>
Saguling	580,2	3.192.054,32	0
Tanjung Jati	2.188	638.644.577,21	176.269.277
Gresik	380,7	254.244.434,35	978.492,96
Paiton	4.456	1.335.263.261	931.607.698
Grati	527,3	223.558.137,89	86.894.300,26
<b>Total</b>	<b>13096</b>	<b>4.727.320.544</b>	<b>2.165.058.031</b>

Pada jam kedua total masing-masing pembangkitan terpenuhi beban nya sebesar 13.108 MW. Nilai ini membuktikan keseimbangan daya antara pembangkitan dan beban terpenuhi. Biaya total yang diperlukan pembangkit berdasarkan simulasi dengan COA adalah sebesar 4.739.362.961 Rp/Jam. Sedangkan total emisi dari hasil pembakaran adalah sebesar 2.205.385.628 gram/jam. Hasil simulasi pada jam kedua dapat dilihat pada Tabel 4.2.

**Tabel 4.2** Hasil Jam kedua Kondisi Pertama

<b>Jam ke 2</b>	<b>Daya (MW)</b>	<b>Biaya (Rupiah/jam)</b>	<b>Emisi (Gram/jam)</b>
Suralaya	2.901	1.086.352.152	774.253.865
Muaratawar	942	1.077.082.134	150.403.487
Cirata	842	5.051.229,65	0
Saguling	633,5	3.485.562,66	0
Tanjung Jati	1.975	580.131.665,94	208.035.311
Gresik	595,3	354.480.875,56	60709033,17
Paiton	4.548	1.354.532.843	932.753.076
Grati	670,7	278.246.498,32	79.230.856,54
<b>Total</b>	<b>13108</b>	<b>4.739.362.961</b>	<b>2.205.385.628</b>

Pada jam ketiga total masing-masing pembangkitan terpenuhi beban nya sebesar 12.683 MW. Nilai ini membuktikan keseimbangan daya antara pembangkitan dan beban terpenuhi. Biaya total yang diperlukan pembangkit berdasarkan simulasi dengan COA adalah sebesar 4.698.654.387 Rp/Jam. Sedangkan total emisi dari hasil pembakaran adalah sebesar 2.137.409.116 gram/jam. Hasil simulasi pada jam ketiga dapat dilihat pada Tabel 4.3

**Tabel 4.3** Hasil Jam Ketiga Kondisi Pertama

<b>Jam ke 3</b>	<b>Daya (MW)</b>	<b>Biaya (Rupiah/jam)</b>	<b>Emisi (Gram/jam)</b>
Suralaya	3.019	1.124.842.017	777.463.496
Muaratawar	1.044	1.144.747.924	161.767.501
Cirata	822	4.930.053,46	0
Saguling	493,4	2.714.883,56	0
Tanjung Jati	2.046	599.064.759,84	206.120.369
Gresik	488,4	304.479.560,19	66894010,43
Paiton	4.622	1.369.599.583	851.878.753
Grati	328,6	148.275.605,20	73.284.987,12
<b>Total</b>	<b>12863</b>	<b>4.698.654.387</b>	<b>2.137.409.116</b>

Pada jam keempat total masing-masing pembangkitan terpenuhi beban nya sebesar 12.228 MW. Nilai ini membuktikan keseimbangan daya antara pembangkitan dan beban terpenuhi. Biaya total yang diperlukan pembangkit berdasarkan simulasi dengan COA adalah sebesar 4.480.518.193 Rp/Jam. Sedangkan total emisi dari hasil pembakaran adalah sebesar 2.069.444.61 gram/jam. Hasil simulasi pada jam keempat dapat dilihat pada Tabel 4.4.

**Tabel 4.4** Hasil Jam Keempat Kondisi Pertama

<b>Jam ke 4</b>	<b>Daya (MW)</b>	<b>Biaya (Rupiah/jam)</b>	<b>Emisi (Gram/jam)</b>
Suralaya	3.075	1.142.806.169	697.213.409
Muaratawar	962	1.090.536.782	151.427.643
Cirata	805	4.830.682,61	0
Saguling	647,5	3.562.652,26	0
Tanjung Jati	1.385	435.166.802,41	210.119.716
Gresik	490	305.211.280,96	51.891.220,37
Paiton	4.544	1.353.557.653	897.770.777
Grati	319,5	144.846.171,16	61021895,55
<b>Total</b>	<b>12228</b>	<b>4.480.518.193</b>	<b>2.069.444.661</b>

Sehingga dari hasil simulasi yang dilakukan pada kondisi pertama pada keempat jam yang dilakukan pada sistem pembangkitan interkoneksi Jawa-Bali, laju perubahan daya dapat dilihat pada Tabel 4.5.

**Tabel 4.5** Laju Perubahan Daya Kondisi 1

Interval	Laju Perubahan Daya			Ramp Rate	Keterangan
	Ke 1-2	Ke 2-3	Ke 3-4		
Suralaya	250,8	-118,1	-55,5	300	Sesuai
Muaratawar	34,1	-102,2	81,9	510	Sesuai
Cirata	-6	-20,2	16,59	930	Sesuai
Saguling	-53,2	-140,1	660,2	660	Sesuai
Tanjung Jati	213,09	342,1	-154,1	337	Sesuai
Gresik	-214,6	106,9	-1,6	420	Sesuai
Paiton	-92,8	-73,69	78,4	240	Sesuai
Grati	143,4	-70,3	9,1	240	Sesuai

Pada kondisi pertama total penjumlahan tiap 4 jam , dimana biaya pembangkitan paling di prioritaskan untuk di minimalkan, sedangkan emisi di abaikan menghasilkan, 18.645.856.084 Rupiah/ 4 Jam sedangkan 8.577.297.435 gram/4 jam.

#### 4.1.2 Kondisi 2

Pada kondisi 2 nilai pembobot untuk fungsi biaya bernilai satu ( $W_c=0.75$ ) dan fungsi emisi bernilai nol ( $W_e=0.25$ ). Pada jam pertama total masing-masing pembangkitan terpenuhi beban nya sebesar 13.096 MW. Nilai ini membuktikan keseimbangan daya antara pembangkitan dan beban terpenuhi. Biaya total yang diperlukan pembangkit berdasarkan simulasi dengan COA adalah sebesar 4.814.825.192 Rp/Jam. Sedangkan total emisi dari hasil pembakaran adalah sebesar 2.158.455.734 gram/jam. Hasil simulasi pada jam pertama dapat dilihat pada Tabel 4.6.

**Tabel 4.6** Hasil jam pertama kondisi kedua

Jam ke 1	Daya (MW)	Biaya (Rupiah/jam)	Emisi (Gram/jam)
Suralaya	3.276	1.207.316.378	693.125.816
Muaratawar	1.008	1.120.695.204	152.876.624
Cirata	1.001	6.004.824,27	0
Saguling	625,4	3.441.219,23	0
Tanjung Jati	1.111	376.315.256	275.166.264
Gresik	811,2	456.057.209,86	54.549.384,83
Paiton	4.576	136.020.219	914.526.929

**Tabel 4.6** Hasil jam pertama kondisi kedua(Lanjutan)

<b>Jam ke 1</b>	<b>Daya (MW)</b>	<b>Biaya (Rupiah/jam)</b>	<b>Emisi (Gram/jam)</b>
Grati	687,8	284792909,2	68.210.715,75
<b>Total</b>	<b>13096</b>	<b>4.814.825.192</b>	<b>2.158.455.734</b>

Pada jam kedua total masing-masing pembangkitan terpenuhi beban nya sebesar 13.108 MW. Nilai ini membuktikan keseimbangan daya antara pembangkitan dan beban terpenuhi. Biaya total yang diperlukan pembangkit berdasarkan simulasi dengan COA adalah sebesar 4.767.994.471 Rp/Jam. Sedangkan total emisi dari hasil pembakaran adalah sebesar 2.134.209.416 gram/jam. Hasil simulasi pada jam kedua dapat dilihat pada Tabel 4.7.

**Tabel 4.7** Hasil jam kedua kondisi kedua

<b>Jam ke 2</b>	<b>Daya (MW)</b>	<b>Biaya (Rupiah/jam)</b>	<b>Emisi (Gram/jam)</b>
Suralaya	3.583	1.304.372.616	644.840.547
Muaratawar	949	1.081.914.902	149.731.656
Cirata	823	4.934.764,36	0
Saguling	571,6	3.144.877,05	0
Tanjung Jati	1.533	469.123.154,56	250.959.974
Gresik	442,3	282.953.397,36	76055602,04
Paiton	4.584	1.361.874.511	927.724.739
Grati	622,1	259.676.249,37	84.896.898,90
<b>Total</b>	<b>13.108</b>	<b>4.767.994.471</b>	<b>2.134.209.416</b>

Pada jam ketiga total masing-masing pembangkitan terpenuhi beban nya sebesar 12.683 MW. Nilai ini membuktikan keseimbangan daya antara pembangkitan dan beban terpenuhi. Biaya total yang diperlukan pembangkit berdasarkan simulasi dengan COA adalah sebesar 4.742.147.593 Rp/Jam. Sedangkan total emisi dari hasil pembakaran adalah sebesar 2.134.126.831 gram/jam. Hasil simulasi pada jam ketiga dapat dilihat pada Tabel 4.8.

**Tabel 4.8** Hasil jam ketiga kondisi kedua

<b>Jam ke 3</b>	<b>Daya (MW)</b>	<b>Biaya (Rupiah/jam)</b>	<b>Emisi (Gram/jam)</b>
Suralaya	3.601	1.309.779.828	667.687.490
Muaratawar	1.073	1.163.661.097	159.138.270
Cirata	897	5.382.979,94	0
Saguling	671,6	3.695.192,19	0
Tanjung Jati	1.511	463.865.976,43	258.688.526
Gresik	504	311.780.414,99	65327576,44
Paiton	4.035	1.243.793.226	938.044.007
Grati	571	240.188.877,89	45.240.960,52
<b>Total</b>	<b>12.864</b>	<b>4.742.147.593</b>	<b>2.134.126.831</b>

Pada jam keempat total masing-masing pembangkitan terpenuhi beban nya sebesar 12.228 MW. Nilai ini membuktikan keseimbangan daya antara pembangkitan dan beban terpenuhi. Biaya total yang diperlukan pembangkit berdasarkan simulasi dengan COA adalah sebesar 4.499.294.666 Rp/Jam. Sedangkan total emisi dari hasil pembakaran adalah sebesar 2.062.579.534 gram/jam. Hasil simulasi pada jam keempat dapat dilihat pada Tabel 4.9.

**Tabel 4.9** Hasil jam keempat kondisi kedua

<b>Jam ke 4</b>	<b>Daya (MW)</b>	<b>Biaya (Rupiah/jam)</b>	<b>Emisi (Gram/jam)</b>
Suralaya	3.173	1.174.583.842	678.350.712
Muaratawar	960	1.089.282.095	151.602.064
Cirata	782	4.688.782,09	0
Saguling	596,3	3.281.077,49	0
Tanjung Jati	1.557	474.808.307,86	195.890.767
Gresik	354	241.855.229,93	65.484.570,70
Paiton	4.340	1.310.798.289	927.056.828
Grati	465,3	199.997.041,67	44194592,09
<b>Total</b>	<b>12.228</b>	<b>4.499.294.666</b>	<b>2.062.579.534</b>

Sehingga dari hasil simulasi yang dilakukan pada kondisi kedua pada keempat jam yang dilakukan pada sistem pembangkitan interkoneksi Jawa-Bali, laju perubahan daya dapat dilihat pada Tabel 4.10.

**Tabel 4.10** Laju Perubahan Daya Kondisi 2

Interval	Laju Perubahan Daya			Ramp Rate	Keterangan
	Ke 1-2	Ke 2-3	Ke 3-4		
Suralaya	-300	-17,39	-55,5	300	Sesuai
Muaratawar	5,85	-123,5	-81,9	510	Sesuai
Cirata	178,29	-74,7	16,59	930	Sesuai
TanjungJati	421,59	22,4	-154	337	Sesuai
Gresik	368,9	-61,7	-1,6	420	Sesuai
Saguling	5,38	548,8	660,2	660	Sesuai
Paiton	-8,2	-100	78,4	240	Sesuai
Grati	65,7	51,1	9,1	240	Sesuai

Pada kondisi kedua total penjumlahan tiap 4 jam , dimana keduanya diminimalkan namun biaya pembangkitan lebih di prioritaskan utama untuk di minimalkan daripada total emisi menghasilkan, 18.824.261.922 Rupiah/ 4 Jam sedangkan 8.489.371.514 gram/4 jam.

#### 4.1.3 Kondisi 3

Pada kondisi 3 nilai pembobot untuk fungsi biaya bernilai satu ( $W_c=0.5$ ) dan fungsi emisi bernilai nol ( $W_c=0.5$ ). Pada jam pertama total masing-masing pembangkitan terpenuhi beban nya sebesar 13.096 MW. Nilai ini membuktikan keseimbangan daya antara pembangkitan dan beban terpenuhi. Biaya total yang diperlukan pembangkit berdasarkan simulasi dengan COA adalah sebesar 4.840.104.949 Rp/Jam. Sedangkan total emisi dari hasil pembakaran adalah sebesar 2.131.935.51gram/jam. Hasil simulasi pada jam pertama dapat dilihat pada Tabel 4.11.

**Tabel 4.11** Hasil jam pertama kondisi ketiga

Jam ke 1	Daya (MW)	Biaya (Rupiah/jam)	Emisi (Gram/jam)
Suralaya	2.835	1.064.719.280	631.999.634
Muaratawar	1.102	1.182.840.828	164.433.786
Cirata	835	5.010.342,94	0
Saguling	520,5	2.864.022,81	0
Tanjung Jati	2.101	614.252.860,80	264.961.877



**Tabel 4.11** Hasil jam pertama kondisi ketiga(Lanjutan)

<b>Jam ke 1</b>	<b>Daya (MW)</b>	<b>Biaya (Rupiah/jam)</b>	<b>Emisi (Gram/jam)</b>
Gresik	820,8	460.604.327,91	98.824.902,55
Paiton	4.518	1.348.245.195	923.418.305
Grati	363,8	161.567.636,74	49296545,72
<b>Total</b>	<b>13096</b>	<b>4.840.104.494</b>	<b>2.132.935.051</b>

Pada jam kedua total masing-masing pembangkitan terpenuhi beban nya sebesar 13.108 MW. Nilai ini membuktikan keseimbangan daya antara pembangkitan dan beban terpenuhi. Biaya total yang diperlukan pembangkit berdasarkan simulasi dengan COA adalah sebesar. 4.767.303.563,66 Rp/Jam. Sedangkan total emisi dari hasil pembakaran adalah sebesar 2.111.497.809,68 gram/jam. Hasil simulasi pada jam kedua dapat dilihat pada Tabel 4.12.

**Tabel 4.12** Hasil jam kedua kondisi ketiga

<b>Jam ke 2</b>	<b>Daya (MW)</b>	<b>Biaya (Rupiah/jam)</b>	<b>Emisi (Gram/jam)</b>
Suralaya	3.013	1.122.610.646	666.362.985
Muaratawar	1.111	1.188.796.419	165.261.708
Cirata	941	5.643.370	0
Saguling	659,2	3.626.697,40	0
Tanjung Jati	2.332	679.890.898	292.759.516
Gresik	488,7	304.602.113,78	65353870,91
Paiton	4.073	1.252.383.055	857.761.959
Grati	491	209.750.365	63.997.770,99
<b>Total</b>	<b>13108</b>	<b>4.767.303.564</b>	<b>2.111.497.810</b>

Pada jam ketiga total masing-masing pembangkitan terpenuhi beban nya sebesar 12.683 MW. Nilai ini membuktikan keseimbangan daya antara pembangkitan dan beban terpenuhi. Biaya total yang diperlukan pembangkit berdasarkan simulasi dengan COA adalah sebesar 4.719.297.775,33 Rp/Jam. Sedangkan total emisi dari hasil pembakaran adalah sebesar 2.125.038.939,76 gram/jam. Hasil simulasi pada jam ketiga dapat dilihat pada Tabel 4.13.

**Tabel 4.13** Hasil jam ketiga kondisi ketiga

<b>Jam ke 3</b>	<b>Daya (MW)</b>	<b>Biaya (Rupiah/jam)</b>	<b>Emisi (Gram/jam)</b>
Suralaya	2.938	1.098.274.593	651.917.509
Muaratawar	987	1.106.669.889	153.844.821
Cirata	800	4.799.275,87	0
Saguling	490	2.695.813,48	0
Tanjung Jati	2.304	671.864.016,85	289.304.120
Gresik	560,6	338.233.029,70	72569547,71
Paiton	4.376	1.318.413.796	902.986.666
Grati	408,2	178.347.360,82	54.416.274,70
<b>Total</b>	<b>12863</b>	<b>4.719.297.775</b>	<b>2.125.038.940</b>

Pada jam keempat total masing-masing pembangkitan terpenuhi beban nya sebesar 12.228 MW. Nilai ini membuktikan keseimbangan daya antara pembangkitan dan beban terpenuhi. Biaya total yang diperlukan pembangkit berdasarkan simulasi dengan COA adalah sebesar 4.518.913.398,61 Rp/Jam. Sedangkan total emisi dari hasil pembakaran adalah sebesar 2.020.432.430,14 gram/jam. Hasil simulasi pada jam keempat dapat dilihat pada Tabel 4.14.

**Tabel 4.14** Hasil jam keempat kondisi ketiga

<b>Jam ke 4</b>	<b>Daya (MW)</b>	<b>Biaya (Rupiah/jam)</b>	<b>Emisi (Gram/jam)</b>
Suralaya	2.852	1.070.297.700	635.310.892
Muaratawar	940	1.075.433.935	149.502.530
Cirata	961	5.766.227,79	0
Saguling	428,1	2.355.198,97	0
Tanjung Jati	2.053	601.077.403,83	259.516.150
Gresik	590,5	352.252.815,78	75.577.560,98
Paiton	4.005	1.236.964.845	847.201.968
Grati	398,7	174.765.273,00	53323329,52
<b>Total</b>	<b>12228</b>	<b>4.518.913.399</b>	<b>2.020.432.430</b>

Sehingga dari hasil simulasi yang dilakukan pada kondisi ketiga pada keempat jam yang dilakukan pada sistem pembangkitan interkoneksi Jawa-Bali, laju perubahan daya dapat dilihat pada Tabel 4.15.

**Tabel 4.15** Laju Perubahan Daya Kondisi 3

Interval	Laju Perubahan Daya			Ramp Rate	Keterangan
	Ke 1-2	Ke 2-3	Ke 3-4		
Suralaya	-177,2	74,8	85,5	300	Sesuai
Muaratawar	-9	124,2	47,1	510	Sesuai
Cirata	-105,5	140,69	-161,09	930	Sesuai
Saguling	-138,7	169,2	61,9	660	Sesuai
Tanjung Jati	-444,3	-302,9	-29,9	337	Sesuai
Gresik	-332,1	-61,7	307,6	420	Sesuai
Paiton	-230,9	27,5	9,5	240	Sesuai
Grati	-127,2	-127,2	251,59	420	Sesuai

Pada kondisi kedua total penjumlahan tiap 4 jam , dimana keduanya diminimalkan dengan bobot yang sama atau prioritas yang sama menghasilkan 18.845.619.232 Rupiah/ 4 Jam dan untuk emisi sebesar 8.389.904.230 gram / jam.

#### 4.1.4 Kondisi 4

Pada kondisi 4 nilai pembobot untuk fungsi biaya bernilai satu ( $W_c=0.25$ ) dan fungsi emisi bernilai nol ( $W_e=0.75$ ). Pada jam pertama total masing-masing pembangkitan terpenuhi beban nya sebesar 13.096 MW. Nilai ini membuktikan keseimbangan daya antara pembangkitan dan beban terpenuhi. Biaya total yang diperlukan pembangkit berdasarkan simulasi dengan COA adalah sebesar 4.950.962.009,27 Rp/Jam. Sedangkan total emisi dari hasil pembakaran adalah sebesar 2.005.890.776,48 gram/jam. Hasil simulasi pada jam pertama dapat dilihat pada Tabel 4.16.

**Tabel 4.16** Hasil jam pertama kondisi keempat

Jam ke 1	Daya (MW)	Biaya (Rupiah/jam)	Emisi (Gram/jam)
Suralaya	1.828	722.471.310	428.846.938
Muaratawar	1.673	1.558.776.107	216.694.735
Cirata	967	5.804.085,17	0
Saguling	607,8	3.344.257,99	0
Tanjung Jati	2.273	662.856.418,84	285.444.353
Gresik	752,3	428.290.838,25	91.891.887,29

**Tabel 4.16** Hasil jam pertama kondisi keempat(Lanjutan)

<b>Jam ke 1</b>	<b>Daya (MW)</b>	<b>Biaya (Rupiah/jam)</b>	<b>Emisi (Gram/jam)</b>
Paiton	4.419	1.327.474.071	9.091.920.831
Grati	575,6	241.944.921,09	738207804,5
<b>Total</b>	<b>13096</b>	<b>4.950.962.009</b>	<b>2.005.890.776</b>

Pada jam kedua total masing-masing pembangkitan terpenuhi beban nya sebesar 13.108 MW. Nilai ini membuktikan keseimbangan daya antara pembangkitan dan beban terpenuhi. Biaya total yang diperlukan pembangkit berdasarkan simulasi dengan COA adalah sebesar 4.749.212.159,21 Rp/Jam. Sedangkan total emisi dari hasil pembakaran adalah sebesar 2.025.118.669,45 gram/jam. Hasil simulasi pada jam kedua dapat dilihat pada Tabel 4.17.

**Tabel 4.17** Hasil jam kedua kondisi keempat

<b>Jam ke 2</b>	<b>Daya (MW)</b>	<b>Biaya (Rupiah/jam)</b>	<b>Emisi (Gram/jam)</b>
Suralaya	1.920	813.581.142	482.928.217
Muaratawar	1.379	1.396.387.684	194.120.176
Cirata	1.006	5.509.135	0
Saguling	667,1	3.771.819,58	0
Tanjung Jati	2.530	750.250.252	323.643.771
Gresik	501,4	352.565.622,49	75644675,18
Paiton	4.661	1.284.701.876	879.897.243
Grati	443,7	162.959.661	49.721.271,77
<b>Total</b>	<b>13108</b>	<b>4.749.212.159</b>	<b>2.025.118.669</b>

Pada jam ketiga total masing-masing pembangkitan terpenuhi beban nya sebesar 12.683 MW. Nilai ini membuktikan keseimbangan daya antara pembangkitan dan beban terpenuhi. Biaya total yang diperlukan pembangkit berdasarkan simulasi dengan COA adalah sebesar 4.769.727.191,5Rp/Jam. Sedangkan total emisi dari hasil pembakaran adalah sebesar 2.005.955.354,45 gram/jam. Hasil simulasi pada jam ketiga dapat dilihat pada Tabel 4.18.

**Tabel 4.18** Hasil jam ketiga kondisi keempat

<b>Jam ke 3</b>	<b>Daya (MW)</b>	<b>Biaya (Rupiah/jam)</b>	<b>Emisi (Gram/jam)</b>
Suralaya	2.090	813.581.142	482.928.217
Muaratawar	1.426	1.396.387.684	194.120.176
Cirata	918	5.509.134,98	0
Saguling	685,5	3.771.819,58	0
Tanjung Jati	2.566	750.250.251,76	323.643.771
Gresik	591,2	352.565.622,49	75.644.675,18
Paiton	4.219	1.284.701.876	879.897.243
Grati	367,5	162.959.660,78	49.721.271,77
<b>Total</b>	<b>12863</b>	<b>4.769.727.192</b>	<b>2.005.955.354</b>

Pada jam keempat total masing-masing pembangkitan terpenuhi beban nya sebesar 12.228 MW. Nilai ini membuktikan keseimbangan daya antara pembangkitan dan beban terpenuhi. Biaya total yang diperlukan pembangkit berdasarkan simulasi dengan COA adalah sebesar 4.470.507.324,6Rp/Jam. Sedangkan total emisi dari hasil pembakaran adalah sebesar 1.924.210.960,88 gram/jam. Hasil simulasi pada jam keempat dapat dilihat pada Tabel 4.19.

**Tabel 4.19** Hasil jam keempat kondisi keempat

<b>Jam ke 4</b>	<b>Daya (MW)</b>	<b>Biaya (Rupiah/jam)</b>	<b>Emisi (Gram/jam)</b>
Suralaya	1.812	716.729.242	425.438.542
Muaratawar	1.045	1.145.445.339	159.235.222
Cirata	977	5.860.641,42	0
Saguling	562,7	3.095.741,59	0
Tanjung Jati	2.090	611.267.680,57	263.723.852
Gresik	627,1	369.429.135,69	79.262.823,85
Paiton	4.400	1.323.544.462	906.500.679
Grati	714,8	295.135.081,83	90.049.841,50
<b>Total</b>	<b>12228</b>	<b>4.470.507.325</b>	<b>1.924.210.961</b>

Sehingga dari hasil simulasi yang dilakukan pada kondisi keempat pada keempat jam yang dilakukan pada sistem pembangkitan interkoneksi Jawa-Bali, laju perubahan daya dapat dilihat pada Tabel 4.20.

**Tabel 4.20** Laju Perubahan Daya Kondisi 4

Interval	Laju Perubahan Daya			Ramp Rate	Keterangan
	Ke 1-2	Ke 2-3	Ke 3-4		
Suralaya	-92,29	-169,6	278,2	300	Sesuai
Muaratawar	294	-46,5	380,6	510	Sesuai
Cirata	-38,89	88	-58,6	930	Sesuai
Saguling	-59,3	441,09	475,69	660	Sesuai
Tanjung Jati	-265,5	-36,09	122,8	337	Sesuai
Gresik	250,9	-89,8	-35,9	420	Sesuai
Paiton	-242	-18,4	-180,4	240	Sesuai
Grati	131,9	76,2	347,3	420	Sesuai

Pada kondisi keempat total penjumlahan tiap 4 jam , dimana keduanya diminimalkan namun lebih diutamakan emisi daripada biaya pembangkitan, menghasilkan 18.940.408.685 Rupiah/ 4 Jam dan untuk emisi sebesar 7.961.175.761 gram / jam.

#### 4.1.5 Kondisi 5

Pada kondisi 5 nilai pembobot untuk fungsi biaya bernilai satu ( $W_c=1$ ) dan fungsi emisi bernilai nol ( $W_s=0$ ). Pada jam pertama total masing-masing pembangkitan terpenuhi beban nya sebesar 13.096 MW. Nilai ini membuktikan keseimbangan daya antara pembangkitan dan beban terpenuhi. Biaya total yang diperlukan pembangkit berdasarkan simulasi dengan COA adalah sebesar 5.197.081.367 Rp/Jam. Sedangkan total emisi dari hasil pembakaran adalah sebesar 2.001.871.181 gram/jam. Hasil simulasi pada jam pertama dapat dilihat pada Tabel 4.21.

**Tabel 4.21** Hasil jam pertama kondisi kelima

Jam ke 1	Daya (MW)	Biaya (Rupiah/jam)	Emisi (Gram/jam)
Suralaya	2.650	1.003.400.940	595.602.089
Muaratawar	2.307	1.971.035.900	274.005.365
Cirata	971	58.285.873.975,37	0
Saguling	698	38.403.037.844,65	0
Tanjung Jati	2.361	688.355.417,67	296.419.158
Gresik	445,8	284.592.907,99	61.060.798,18

**Tabel 4.21** Hasil jam pertama kondisi kelima (Lanjutan)

<b>Jam ke 1</b>	<b>Daya (MW)</b>	<b>Biaya (Rupiah/jam)</b>	<b>Emisi (Gram/jam)</b>
Paiton	3.208	1.043.824.873	714.919.663
Grati	455,3	196.202.436,91	59.864.108,51
<b>Total</b>	<b>13096</b>	<b>5.197.081.367</b>	<b>2.001.871.181</b>

Pada jam kedua total masing-masing pembangkitan terpenuhi beban nya sebesar 13.108 MW. Nilai ini membuktikan keseimbangan daya antara pembangkitan dan beban terpenuhi. Biaya total yang diperlukan pembangkit berdasarkan simulasi dengan COA adalah sebesar 5.212.089.382 Rp/Jam. Sedangkan total emisi dari hasil pembakaran adalah sebesar 1.996.078.436 gram/jam. Hasil simulasi pada jam kedua dapat dilihat pada Tabel 4.22.

**Tabel 4.22** Hasil jam kedua kondisi kelima

<b>Jam ke 2</b>	<b>Daya (MW)</b>	<b>Biaya (Rupiah/jam)</b>	<b>Emisi (Gram/jam)</b>
Suralaya	2.453	937.375.486	556.410.478
Muaratawar	2.136	1.860.460.221	258.633.597
Cirata	1.003	6.019.473	0
Saguling	608,4	334.764.766,00	0
Tanjung Jati	2.324	677.473.927	291.717.509
Gresik	781,9	442.241.412,70	94.885.050,40
Paiton	3.269	1.059.291.302	725.512.679
Grati	533,4	225.879.913	68.919.121,90
<b>Total</b>	<b>13108</b>	<b>5.212.089.382</b>	<b>1.996.078.436</b>

Pada jam ketiga total masing-masing pembangkitan terpenuhi beban nya sebesar 12.683 MW. Nilai ini membuktikan keseimbangan daya antara pembangkitan dan beban terpenuhi. Biaya total yang diperlukan pembangkit berdasarkan simulasi dengan COA adalah sebesar 5.174.151.738 Rp/Jam. Sedangkan total emisi dari hasil pembakaran adalah sebesar 1.942.321.602 gram/jam. Hasil simulasi pada jam ketiga dapat dilihat pada Tabel 4.23.

**Tabel 4.23** Hasil jam ketiga kondisi kelima

<b>Jam ke 3</b>	<b>Daya (MW)</b>	<b>Biaya (Rupiah/jam)</b>	<b>Emisi (Gram/jam)</b>
Suralaya	2.473	944.071.294	560.384.999
Muaratawar	2.219	1.914.148.349	266.097.096
Cirata	988	593.011,43	0
Saguling	625,7	3.442.737,51	0
Tanjung Jati	2.346	684.075.664,56	294.566.790
Gresik	645,4	378.028.564,50	81.107.873,03
Paiton	2.851	949.114.916	650.052.450
Grati	715,3	295.340.097,57	90.112.394,67
<b>Total</b>	<b>12863</b>	<b>5.174.151.738</b>	<b>1.942.321.602</b>

Pada jam keempat total masing-masing pembangkitan terpenuhi beban nya sebesar 12228 MW. Nilai ini membuktikan keseimbangan daya antara pembangkitan dan beban terpenuhi. Biaya total yang diperlukan pembangkit berdasarkan simulasi dengan COA adalah sebesar 5.007.588.567 Rp/Jam. Sedangkan total emisi dari hasil pembakaran adalah sebesar 1.821.663.751 gram/jam. Hasil simulasi pada jam keempat dapat dilihat pada Tabel 4.24.

**Tabel 4.24** Hasil jam keempat kondisi kelima

<b>Jam ke 4</b>	<b>Daya (MW)</b>	<b>Biaya (Rupiah/jam)</b>	<b>Emisi (Gram/jam)</b>
Suralaya	2.446	935.239.003	555.142.298
Muaratawar	2.247	1.932.473.541	268.644.587
Cirata	959	5.754.364,00	0
Saguling	596,9	3.284.165,88	0
Tanjung Jati	2.584	755.950.288,90	326.189.640
Gresik	612,2	36.242.852.121,00	77.760.808,02
Paiton	2.154	750.444.248	513.982.148
Grati	628,2	262.014.435,52	79.944.269,81
<b>Total</b>	<b>12228</b>	<b>5.007.588.567</b>	<b>1.821.663.751</b>

Sehingga dari hasil simulasi yang dilakukan pada kondisi kelima pada keempat jam yang dilakukan pada sistem pembangkitan interkoneksi Jawa-Bali, laju perubahan daya dapat dilihat pada Tabel 4.25.



**Tabel 4.25** Laju Perubahan Daya Kondisi 5

Interval	Laju Perubahan Daya			Ramp Rate	Keterangan
	Ke 1-2	Ke 2-3	Ke 3-4		
Suralaya	197,09	-19,89	26,3	300	Sesuai
Muaratawar	170,5	-82,7	-28,2	510	Sesuai
Cirata	-31,8	14,8	696,6	930	Sesuai
Saguling	89,59	-17,3	28,8	660	Sesuai
Tanjung Jati	37,1	-22,6	-238	337	Sesuai
Gresik	-336,1	418	33,2	420	Sesuai
Paiton	-60,3	136,5	29,3	240	Sesuai
Grati	-78,1	-181,9	87,1	420	Sesuai

Pada kondisi kelima total penjumlahan tiap 4 jam , dimana emisi paling di prioritaskan untuk diminimalkan sedangkan biaya pembangkitan di biarkan tetap mahal menghasilkan 20.590.911.053 Rupiah/ 4 Jam dan emisi sebesar 7.761.934.970 Gram/4 jam

## 4.2 Hubungan Biaya Bahan Bakar dan Emisi

### 4.2.1 Hubungan Biaya Bahan Bakar Dan Emisi Dengan Menggunakan Metode *Cuckoo Optimization Algorithm*

Pada sub-bab ini, akan dijelaskan hasil simulasi untuk total biaya dan total emisi selama 4 jam dengan 5 kondisi yang berbeda yang disesuaikan dengan tingkat prioritas dari objek yang diminimalkan. Hasil simulasi untuk total biaya dan total emisi selama 4 jam dengan menggunakan metode *Cuckoo Optimization Algorithm* (COA) dapat dilihat pada Tabel 2.26.

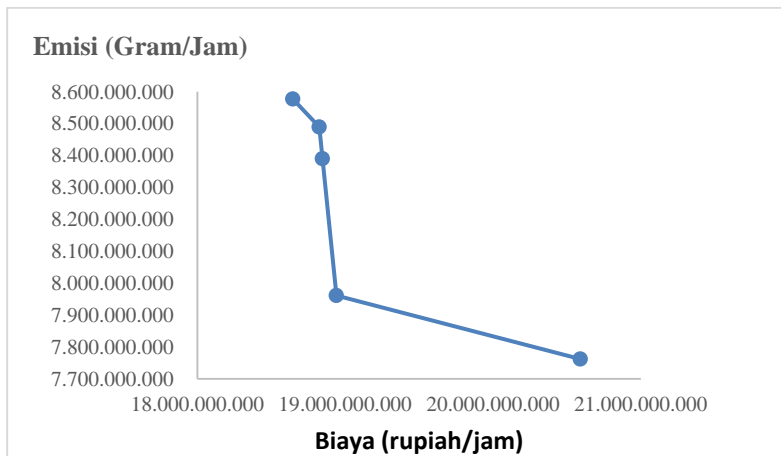
**Tabel 4.26** Hasil Simulasi Total Biaya dan Total Emisi Selama 4 Jam Menggunakan *Cuckoo Optimization Algorithm*

Kondisi	Biaya (Rupiah/4jam)	Emisi NO <sub>2</sub> (Gram/4jam)
1	18.645.856.084	8.577.297.435
2	18.824.261.922	8.489.371.514
3	18.845.619.232	8.389.904.230
4	18.940.408.685	7.961.175.761
5	20.590.911.053	7.761.934.970

Dari tabel diatas, dapat dilihat pada kondisi pertama yang di pertimbangkan hanya biaya pembangkitan dengan total 18.645.856.084 Rp / 4 Jam dan dengan total emisi 8.557.297.435 gram/4jam. Pada kondisi kedua yang diprioritaskan lebih adalah biaya pembangkitan dari pada emisi dengan total biaya pembangkitan 18.824.261.922 Rp/4jam dan total emisi 8.489.371.514 gram/4jam .

Pada kondisi ketiga total biaya pembangkitan dan total emisi sama-sama diprioritaskan, keduanya memiliki bobot yang sama dengan total biaya pembangkitan sebesar nilai 18.845.619.232 Rp/4jam dan total emisi dengan total emisi sebesar 8.389.904.230 gram/4jam. Pada kondisi keempat nilai emisi lebih diprioritaskan untuk di minimalkan dari pada biaya pembangkitan dengan total biaya pembangkitan sebesar 18.940.408.685 Rp/4jam dan total emisi dengan total emisi sebesar 20.590.911.053 gram/4jam. Pada kondisi kelima nilai emisi paling diprioritaskan dan nilai pembangkitan tidak diperhitungkan sama sekali dengan total biaya pembangkitan sebesar 20.590.911.053 Rp/4jam dan total emisi dengan total emisi sebesar 7.761.934.970 gram/4jam.

Sedangkan kurva yang dibentuk dari biaya dan bahan bakar  $\text{NO}_2$  pada masing masing kondisi tiap pembobotan yang berbeda-beda dapat dilihat pada Gambar 4.1. Grafik tersebut menunjukkan bahwa semakin kecil nilai prioritas pembobot untuk nilai biaya bahan bakar.



**Gambar 4.1** Grafik Hasil Simulasi Biaya terhadap Emisi dengan *Cuckoo Optimization Algorithm*

#### 4.2.2 Hubungan Biaya Bahan Bakar dan Emisi dengan Menggunakan Metode *Firefly Algorithm*

Pada sub-bab ini, akan dijelaskan hasil simulasi untuk total biaya dan total emisi selama 4 jam dengan 5 kondisi yang berbeda yang disesuaikan dengan tingkat prioritas dari objek yang diminimalkan. Hasil simulasi untuk total biaya dan total emisi selama 4 jam dengan menggunakan metode *Firefly Algorithm* dapat dilihat pada Tabel 2.27.

**Tabel 4.27** Hasil Simulasi Total Biaya dan Total Emisi Selama 4 Jam Menggunakan *Firefly Algorithm*

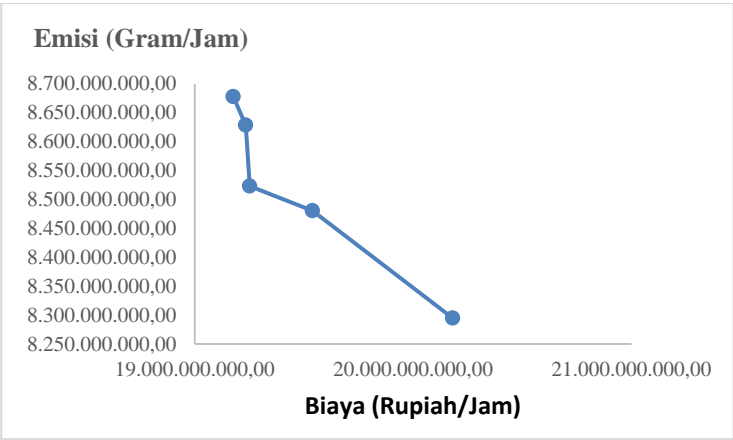
Kondisi	Biaya (Rupiah/4jam)	Emisi NO <sub>2</sub> (Gram/4jam)
1	19.176.042.873,96	8.677.881.402,00
2	19.233.587.743,28	8.628.485.188,00
3	19.251.392.530,31	8.523.037.291,00
4	19.539.173.481,41	8.480.266.373,00
5	20.181.370.522,79	8.294.551.135,00

Dari tabel diatas, dapat dilihat pada kondisi pertama yang di pertimbangkan hanya biaya pembangkitan dengan total 19.176.042.873,96 Rp / 4 Jam dan dengan total emisi 8.677.881.402 gram/4jam. Pada kondisi kedua yang diprioritaskan lebih adalah biaya pembangkitan dari pada emisi dengan total biaya pembangkitan 19.233.587.743,28 Rp/4jam dengan total emisi 8.628.485.188.

Pada kondisi ketiga total biaya pembangkitan dan total emisi sama-sama diprioritaskan, keduanya memiliki bobot yang sama dengan total biaya pembangkitan sebesar 19.251.392.530,31 Rp/4jam dan total emisi dengan total emisi sebesar 8.523.037.291 gram/4jam. Pada kondisi keempat nilai emisi lebih diprioritaskan untuk di minimalkan dari pada biaya pembangkitan dengan total biaya pembangkitan sebesar 19.253.173.481,41 Rp/4jam dan total emisi dengan total emisi sebesar 8.480.266.373 gram/4jam. Pada kondisi kelima nilai emisi paling diprioritaskan dan nilai pembangkitan tidak diperhitungkan sama sekali dengan total biaya pembangkitan sebesar 20.181.370.522,79 Rp/4jam dan total emisi dengan total emisi sebesar 8.294.551.135 gram/4jam.

Sedangkan untuk kurva yang dibentuk dari biaya dan bahan bakar NO<sub>2</sub> pada masing masing kondisi tiap pembobotan masing-masing dengan metode *Firefly Algorithm* dapat dilihat pada Gambar 4.2.

Berdasarkan hasil simulasi dan kurva biaya bahan bakar dan emisi, metode *Cuckoo Optimization Algorithm* cenderung lebih optimal.



**Gambar 4.2** Grafik Hasil Simulasi Biaya terhadap Emisi dengan *Firefly Algorithm*

### 4.2.3 Hubungan Biaya Bahan Bakar dan Emisi dengan Menggunakan Metode *Particle Swarm Optimization*

Pada sub-bab ini, akan dijelaskan hasil simulasi untuk total biaya dan total emisi selama 4 jam dengan 5 kondisi yang berbeda yang disesuaikan dengan tingkat prioritas dari objek yang diminimalkan. Hasil simulasi untuk total biaya dan total emisi selama 4 jam dengan menggunakan metode *Particle Swarm Optimization* dapat dilihat pada Tabel 2.28.

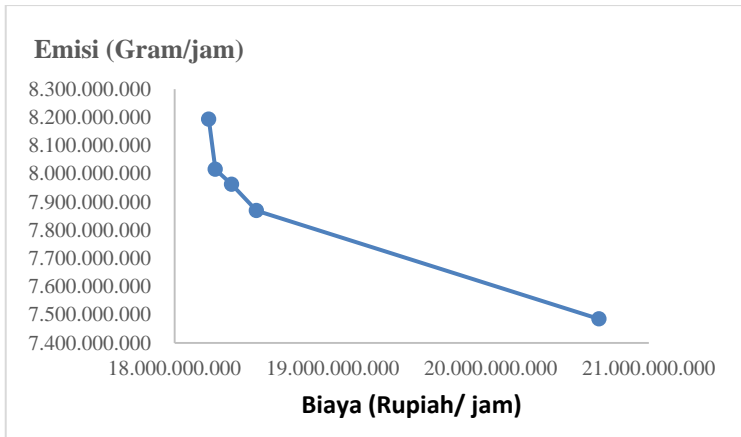
**Tabel 4.28** Hasil Simulasi Total Biaya dan Total Emisi Selama 4 Jam Menggunakan *Particle Swarm Optimization*.

Kondisi	Biaya (Rupiah/4jam)	Emisi NO <sub>2</sub> (Gram/4Jam)
1	18.216.288.250	8.192.906.672
2	18.257.877.005	8.015.324.665
3	18.360.863.935	7.962.234.620
4	18.517.976.626	7.868.965.431
5	20.685.607.923	7.484.509.831

Tabel 4.28 adalah hasil simulasi total biaya dan total emisi selama 4 jam dengan 5 kondisi yang berbeda sesuai dengan tingkat prioritas dari objek yang diminimalkan. Pada kondisi pertama yang di pertimbangkan hanya biaya pembangkitan dengan total 18.216.288.249,58 Rp / 4 Jam dan dengan total emisi 8.192.906.672 gram/4jam. Pada kondisi kedua yang diprioritaskan lebih adalah biaya pembangkitan dari pada emisi dengan total biaya pembangkitan 18.257.877.005,29 Rp/4jam dengan total emisi 8.015.324.665.

Pada kondisi ketiga total biaya pembangkitan dan total emisi sama-sama diprioritaskan, keduanya memiliki bobot yang sama dengan total biaya pembangkitan sebesar 18.360.863.935 Rp/4jam dan total emisi dengan total emisi sebesar 7.962.234.620 gram/4jam. Pada kondisi keempat nilai emisi lebih diprioritaskan untuk di minimalkan dari pada biaya pembangkitan dengan total biaya pembangkitan sebesar 18.517.976.626,02 Rp/4jam dan total emisi dengan total emisi sebesar 7.868.965.431 gram/4jam. Pada kondisi kelima nilai emisi paling diprioritaskan dan nilai pembangkitan tidak diperhitungkan sama sekali dengan total biaya pembangkitan sebesar 20.685.607.922,52 Rp/4jam dan total emisi dengan total emisi sebesar 7.484.509.831 gram/4jam.

Sedangkan untuk kurva yang dibentuk dari biaya dan bahan bakar NO<sub>2</sub> pada masing masing kondisi tiap pembobotan masing-masing dengan metode *Particle Swarm Optimation* dapat dilihat pada Gambar 4.3. Berdasarkan hasil simulasi dan kurva perbandingan antara metode *Cuckoo Optimization Algorithm*, dan metode *Firefly Algorithm* metode PSO ini lebih optimal dibandingkan kedua metode tersebut.



**Gambar 4.3** Grafik Hasil Simulasi Biaya terhadap Emisi dengan *Particle Swarm Optimization*

#### 4.3 Perbandingan Biaya Bahan Bakar dan Emisi Hasil *Economic Emission Dispatch*

Dari data yang diperoleh pada hasil program, menunjukkan bahwa multi objektif *Economic Emission Dispatch* dapat mengurangi emisi gas NO<sub>2</sub> (Karbon Dioksida), namun semakin berkurangnya emisi , biaya bahan bakar akan semakin naik. Masing-masing hasil prosentase pengurangan emisi menggunakan metode COA, FA dan PSO dapat dilihat pada Tabel 4.29, Tabel 4.30, dan Tabel 4.31.

**Tabel 4.29.** Pengurangan Emisi dengan *Cuckoo Optimization Algorithm*

Kondisi		Biaya (Juta/4jam)	Emisi NO <sub>2</sub> (Ton)	Emisi Yang Dapat Dikurangi	Penambahan Emisi (%)	Penambahan Biaya (%)
Wc	Ws					
1	0	18.645,85	8.577,29	0	0	0
0.75	0.25	18.824,21	8.489,37	87,92	1,02	0.95
0.5	0.5	18.845,61	8.389,94	187,35	2,18	1,05
0.25	0.75	18.940,40	7.961,17	616,12	7,18	1,55
0	1	20.590,91	7.761,93	815,36	9,5	9,44

**Tabel 4.30** Pengurangan Emisi dengan Metode *Firefly*

Kondisi		Biaya (Juta/4jam)	Emisi NO <sub>2</sub> (Ton)	Emisi Yang Dapat Dikurangi	Penambahan Emisi (%)	Penambahan Biaya (%)
Wc	Ws					
1	0	19.176,04	8.677,88	0	0	0
0.75	0.25	19.233,58	8.628,48	49,4	0,57	0,25
0.5	0.5	19.251,39	8.523,03	154,85	1,78	0,39
0.25	0.75	19.539,17	8.480,26	197,62	2,28	1,89
0	1	20.181,37	8.294,55	383,33	4,42	5,24

**Tabel 4.31** Pengurangan Emisi dengan Metode *Particle Swarm Optimization*

Kondisi		Biaya (Juta/4jam)	Emisi NO <sub>2</sub> (Ton)	Emisi Yang Dapat Dikurangi	Penambahan Emisi (%)	Penambahan Biaya (%)
Wc	Ws					
1	0	18.216,29	8.192,90	0	0	0
0.75	0.25	18.257,88	8.015,32	177,58	2,16	0,23
0.5	0.5	18.360,86	7.962,23	230,67	2,81	0,79
0.25	0.75	18.517,98	7.868,96	323,94	3,95	1,65
0	1	20.685,61	7.282,51	708,39	8,64	13,55

Hasil simulasi menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai emisi maka semakin rendah biaya pembangkitan. Hasil simulasi dengan data yang sama dibanding metode *Cuckoo Optimization Algorithm* dengan *Particle Swarm Optimization* lebih optimal menggunakan PSO jika dilihat dari total rata-rata masing-masing kondisi yaitu sebesar 18.807,72 Juta/4 Jam dan total emisi rata 7864,38 untuk PSO dan 19169.39 Rp/Jam dan 8235.94 gram/Jam prioritas yang berbeda. Hasil Simulasi dengan data yang sama dibanding metode *Cuckoo Optimization Algorithm* dengan *Firefly* lebih optimal menggunakan *Cuckoo*. Jika dilihat dari total rata-rata masing-masing kondisi yaitu sebesar . 8.520,84 gram/Jam untuk total emisi dan 19.476,31 Rp/Jam untuk total biaya pembangkitan.

## **BAB 5**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis Economic Dispatch Emission menggunakan *Cuckoo Search Algorithm* maka pada Tugas Akhir ini didapat kesimpulan sebagai berikut:

1. *Cuckoo Optimization Algorithm* dapat digunakan menyelesaikan permasalahan ED Economic Emission Dispatch
2. Hasil simulasi menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai emisi maka semakin rendah biaya pembangkitan.
3. Hasil simulasi dengan data yang sama dibanding metode *Cuckoo Optimization Algorithm* dengan *Particle Swarm Optimization* lebih optimal menggunakan PSO jika dilihat dari total rata-rata masing-masing kondisi yaitu sebesar 18.807,72 Juta/4 Jam dan total emisi rata 7864,38 untuk PSO dan 19169.39 Rp/Jam dan 8235.94 gram/Jam prioritas yang berbeda.
4. Hasil Simulasi dengan data yang sama dibanding metode *Cuckoo Optimization Algorithm* dengan *Firefly* lebih optimal menggunakan *Cuckoo*. Jika dilihat dari total rata-rata masing-masing kondisi yaitu sebesar 8.520,84 gram/Jam untuk total emisi dan 19.476,31 Rp/Jam untuk total biaya pembangkitan

#### **5.2 Saran**

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut

1. Pembahasan mengenai *Economic emission* Dapat digunakan pada metode lain untuk dibandingkan.
2. Pembahasan mengenai *Economic emission* Dapat digunakan pada data sistem pembangkit lain atau yang lebih baru.
3. Dapat penambahan constrain yang lain seperti misal rugi-rugi transmisi



*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. A.Farhat and M.E.EL-Hawary,"Bacterial Foraging Algorithm For Optimum Economic-Emission Dispatch " Power System IEEE Transaction978-1-45577-4040-8/11/2011/economic dispatch algorithm,"
- [2]. X. S. Yang and S. Deb, "Cuckoo search via Lévy flights," IEEE, vol. NaBIC 2009, no. In Nature & Biologically Inspired Computing, pp. 210-214, 2009.
- [3]. J.H.Talaq, F. El-Hawary and M.E. El-Hawary,"A Summary of enviromental/ economic dispatch algorithm"Transaction978-1-4577-4040-8/11/2012
- [4]. Hadi Saadat, "Power System Analysis," WCB McGraw-Hil, New York, 1999
- [5] El- Keib AA, Ma H, JL Hart, "Economic Dispatch in viewof the Clean Air Act of 1990," IEEE Trans Power Syst, Vol.9, No. 2, pp.972–978, 1994.
- [6] W. E. Feeney, J. Troscianko and N. E. Langmore, Evidence for iggressive mimicry in an adult brood parasitic bird, Cape Town, South Africa: ST-NRF Centre of Excellence at the Percy FitzPatrick Institute.
- [7]. Allen J. Wood and Bruce F, Wollenberg. "Power Generation, Operation and Kontrol". John Wiley & Sons, Inc., 1996. Pp. 514-518.
- [8] Pujihatusi,Pratiwi. 2015, " Dynamic Economic Emission Dengan metode Firefly Algorithm". Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- [9] Qodri,Ahmad Nugroho. 2016," Dynamic Economic Dispatch menggunakan metode optimasi Cuckoo", Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BIOGRAFI PENULIS



Nama : Agil Dwijatmoko Rahmatullah  
Alamat : Desa Krandegan RT. 24/04, Kebonsari, Madiun  
Tempat Lahir : Madiun  
Tanggal Lahir : 29 September 1992  
No Hp : 085733965822

### Riwayat Pendidikan Formal

<b>MI Bahrul Ulum Buluh Madiun</b>	(1999 - 2003)
<b>MTsN Doho Dolopo Madiun</b>	(2003 - 2007)
<b>SMAN 1 Geger Madiun</b>	(2007 - 2010)
<b>D3 Teknik Elektro ITS</b>	(2010 - 2013)
<b>S1 Teknik Elektro ITS</b>	(2014 - 2017)

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## LAMPIRAN A

### Program Asal Cuckoo Xin-she Yang dan Shuash Deb

```
% -----  
-----  
% Cuckoo Search (CS) algorithm by Xin-She  
Yang and Suash Deb      %  
% Programmed by Xin-She Yang at Cambridge  
University              %  
% Programming dates: Nov 2008 to June 2009  
%  
% Last revised: Dec 2009    (simplified  
version for demo only)    %  
% -----  
-----  
% Papers -- Citation Details:  
% 1) X.-S. Yang, S. Deb, Cuckoo search via  
Levy flights,  
% in: Proc. of World Congress on Nature &  
Biologically Inspired  
% Computing (NaBIC 2009), December 2009,  
India,  
% IEEE Publications, USA, pp. 210-214  
(2009).  
%  
http://arxiv.org/PS\_cache/arxiv/pdf/1003/1003  
.1594v1.pdf  
% 2) X.-S. Yang, S. Deb, Engineering  
optimization by cuckoo search,  
% Int. J. Mathematical Modelling and  
Numerical Optimisation,  
% Vol. 1, No. 4, 330-343 (2010).  
%  
http://arxiv.org/PS\_cache/arxiv/pdf/1005/1005  
.2908v2.pdf  
% -----  
-----%
```

```

% This demo program only implements a
standard version of          %
% Cuckoo Search (CS), as the Levy flights and
generation of                %
% new solutions may use slightly different
methods.                      %
% The pseudo code was given sequentially
(select a cuckoo etc),       %
% but the implementation here uses Matlab's
vector capability,           %
% which results in neater/better codes and
shorter running time.        %
% This implementation is different and more
efficient than the           %
% the demo code provided in the book by
% "Yang X. S., Nature-Inspired
Metaheuristic Algorithms,      %
% 2nd Edition, Luniver Press, (2010).
"                               %
% -----
----- %

%
=====
===== %
% Notes:
%
% Different implementations may lead to
slightly different           %
% behaviour and/or results, but there is
nothing wrong with it,       %
% as this is the nature of random walks and
all metaheuristics.          %
% -----
-----

function [bestnest,fmin]=cuckoo_search(n)
if nargin<1,
% Number of nests (or different solutions)

```

```

n=25;
end

% Discovery rate of alien eggs/solutions
pa=0.25;

% Change this if you want to get better
results
% Tolerance
Tol=1.0e-5;
%% Simple bounds of the search domain
% Lower bounds
nd=15;
Lb=-5*ones(1,nd);
% Upper bounds
Ub=5*ones(1,nd);

% Random initial solutions
for i=1:n,
nest(i,:)=Lb+(Ub-Lb).*rand(size(Lb));
end

% Get the current best
fitness=10^10*ones(n,1);
[fmin,bestnest,nest,fitness]=get_best_nest(ne
st,nest,fitness);

N_iter=0;
%% Starting iterations
while (fmin>Tol),

    % Generate new solutions (but keep the
current best)

new_nest=get_cuckoos(nest,bestnest,Lb,Ub);

[fnew,best,nest,fitness]=get_best_nest(nest,n
ew_nest,fitness);

```



```

    % Update the counter
    N_iter=N_iter+n;
    % Discovery and randomization
    new_nest=empty_nests (nest,Lb,Ub,pa) ;

    % Evaluate this set of solutions

[fnew,best,nest,fitness]=get_best_nest (nest,n
ew_nest,fitness);
    % Update the counter again
    N_iter=N_iter+n;
    % Find the best objective so far
    if fnew<fmin,
        fmin=fnew;
        bestnest=best;
    end
end %% End of iterations

%% Post-optimization processing
%% Display all the nests
disp(strcat('Total number of
iterations=',num2str(N_iter)));
fmin
bestnest

%% ----- All subfunctions are list
below -----
%% Get cuckoos by random walk
function nest=get_cuckoos (nest,best,Lb,Ub)
% Levy flights
n=size(nest,1);
% Levy exponent and coefficient
% For details, see equation (2.21), Page 16
(chapter 2) of the book
% X. S. Yang, Nature-Inspired Metaheuristic
Algorithms, 2nd Edition, Luniver Press,
(2010).
beta=3/2;

```

```

sigma=(gamma(1+beta)*sin(pi*beta/2)/(gamma((1
+beta)/2)*beta*2^((beta-1)/2)))^(1/beta);

for j=1:n,
    s=nest(j,:);
    % This is a simple way of implementing
    Levy flights
    % For standard random walks, use step=1;
    %% Levy flights by Mantegna's algorithm
    u=randn(size(s))*sigma;
    v=randn(size(s));
    step=u./abs(v).^(1/beta);

    % In the next equation, the difference
    factor (s-best) means that
    % when the solution is the best solution,
    it remains unchanged.
    stepsize=0.01*step.*(s-best);
    % Here the factor 0.01 comes from the
    fact that L/100 should be the typical
    % step size of walks/flights where L is
    the typical lengthscale;
    % otherwise, Levy flights may become too
    aggressive/efficient,
    % which makes new solutions (even) jump
    out side of the design domain
    % (and thus wasting evaluations).
    % Now the actual random walks or flights
    s=s+stepsize.*randn(size(s));
    % Apply simple bounds/limits
    nest(j,:)=simplebounds(s,Lb,Ub);
end

%% Find the current best nest
function
[fmin,best,nest,fitness]=get_best_nest(nest,n
ewnest,fitness)
% Evaluating all new solutions
for j=1:size(nest,1),

```

```

        fnew=fobj(newnest(j,:));
        if fnew<=fitness(j),
            fitness(j)=fnew;
            nest(j,:)=newnest(j,:);
        end
    end
end
% Find the current best
[fmin,K]=min(fitness) ;
best=nest(K,:);

%% Replace some nests by constructing new
solutions/nests
function new_nest=empty_nests(nest,Lb,Ub,pa)
% A fraction of worse nests are discovered
with a probability pa
n=size(nest,1);
% Discovered or not -- a status vector
K=rand(size(nest))>pa;

% In the real world, if a cuckoo's egg is
very similar to a host's eggs, then
% this cuckoo's egg is less likely to be
discovered, thus the fitness should
% be related to the difference in solutions.
Therefore, it is a good idea
% to do a random walk in a biased way with
some random step sizes.
%% New solution by biased/selective random
walks
stepsize=rand*(nest(randperm(n),:)-
nest(randperm(n),:));
new_nest=nest+stepsize.*K;
for j=1:size(new_nest,1)
    s=new_nest(j,:);
    new_nest(j,:)=simplebounds(s,Lb,Ub);
end

% Application of simple constraints
function s=simplebounds(s,Lb,Ub)

```

```

% Apply the lower bound
ns_tmp=s;
I=ns_tmp<Lb;
ns_tmp(I)=Lb(I);

% Apply the upper bounds
J=ns_tmp>Ub;
ns_tmp(J)=Ub(J);
% Update this new move
s=ns_tmp;

%% You can replace the following by your own
functions
% A d-dimensional objective function
function z=fobj(u)
%% d-dimensional sphere function sum_j=1^d
(u_j-1)^2.
% with a minimum at (1,1, ..., 1);
z=sum((u-1).^2);

```

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## LAMPIRAN B

### Hasil Kondisi 1

Jam ke 1	Daya (MW)	Cost(Rupiah/jam)	Emisi (Gram/jam)
Suralaya	3.152	1.167.697.542	716.642.898
Muaratawar	976	1.099.705.231	155.794.562
cirata	835,9	5.015.306,27	0
saguling	580,2	3.192.054,32	0
tanjung jati	2.188	638.644.577,21	176.269.277
gresik	380,7	254.244.434,35	978.492,96
paiton	4.456	1.335.263.261	931.607.698
grati	527,3	223.558.137,89	86.894.300,26
total	13096	4.727.320.544	2.165.058.031

Jam ke 2	Daya (MW)	Cost(Rupiah/jam)	Emisi (Gram/jam)
Suralaya	2.901	1.086.352.152	774.253.865
Muaratawar	942	1.077.082.134	150.403.487
cirata	842	5.051.229,65	0
saguling	633,5	3.485.562,66	0
tanjung jati	1.975	580.131.665,94	208.035.311
gresik	595,3	354.480.875,56	60709033,17
paiton	4.548	1.354.532.843	932.753.076
grati	670,7	278.246.498,32	79.230.856,54
total	13108	4.739.362.961	2.205.385.628

Jam ke 3	Daya (MW)	Cost(Rupiah/jam)	Emisi (Gram/jam)
Suralaya	3.019	1.124.842.017	777.463.496
Muaratawar	1.044	1.144.747.924	161.767.501
cirata	822	4.930.053,46	0
saguling	493,4	2.714.883,56	0
tanjung jati	2.046	599.064.759,84	206.120.369
gresik	488,4	304.479.560,19	66894010,43
paiton	4.622	1.369.599.583	851.878.753
grati	328,6	148.275.605,20	73.284.987,12
total	12863	4.698.654.387	2.137.409.116

Jam 4	Daya (MW)	Cost(Rupiah/jam)	Emisi (Gram/jam)
Suralaya	3.075	1.142.806.169	697.213.409
Muaratawar	962	1.090.536.782	151.427.643
cirata	805	4.830.682,61	0
saguling	647,5	3.562.652,26	0
tanjung jati	1.385	435.166.802,41	210.119.716
gresik	490	305.211.280,96	51.891.220,37
paiton	4.544	1.353.557.653	897.770.777
grati	319,5	144.846.171,16	61021895,55
total	12228	4.480.518.193	2.069.444.661

Interval	Laju Perubahan Daya			Ramp rate	Keterangan
	Ke 1-2	Ke 2-3	ke 3-4		
suralaya	250,8	-118,1	-55,5	300	sesuai
Muaratawar	34,1	-102,2	81,9	510	sesuai
Cirata	-6	-20,2	16,59	930	sesuai
saguling	-53,2	-140,1	660,2	660	sesuai
tanjung jati	213,1	342,1	-154,1	337	sesuai
gresik	-214,6	106,9	-1,6	420	sesuai
paiton	-92,8	-73,69	78,4	240	sesuai
grati	143,4	-70,3	9,1	240	sesuai

## 2. Hasil Kondisi 2

Jam ke 1	Daya (MW)	Cost(Rupiah/jam)	Emisi (Gram/jam)
Suralaya	3.276	1.207.316.378	693.125.816
Muaratawar	1.008	1.120.695.204	152.876.624
cirata	1.001	6.004.824,27	0
saguling	625,4	3.441.219,23	0
tanjung jati	1.111	376.315.256	275.166.264
gresik	811,2	456.057.209,86	54.549.384,83
paiton	4.576	136.020.219	914.526.929
grati	687,8	284792909,2	68.210.715,75
total	13096	4.814.825.192	2.158.455.734



Jam ke 2	Daya (MW)	Cost(Rupiah/jam)	Emisi (Gram/jam)
Suralaya	3.583	1.304.372.616	644.840.547
Muaratawar	949	1.081.914.902	149.731.656
cirata	823	4.934.764,36	0
saguling	571,6	3.144.877,05	0
tanjung jati	1.533	469.123.154,56	250.959.974
gresik	442,3	282.953.397,36	76055602,04
paiton	4.584	1.361.874.511	927.724.739
grati	622,1	259.676.249,37	84.896.898,90
total	13108	4.767.994.471	2.134.209.416

Jam ke 3	Daya (MW)	Cost(Rupiah/jam)	Emisi (Gram/jam)
Suralaya	3.601	1.309.779.828	667.687.490
Muaratawar	1.073	1.163.661.097	159.138.270
cirata	897	5.382.979,94	0
saguling	671,6	3.695.192,19	0
tanjung jati	1.511	463.865.976,43	258.688.526
gresik	504	311.780.414,99	65327576,44
paiton	4.035	1.243.793.226	938.044.007
grati	571	240.188.877,89	45.240.960,52
total	12864	4.742.147.593	2.134.126.831

Jam ke 4	Daya (MW)	Cost(Rupiah/jam)	Emisi (Gram/jam)
Suralaya	3.173	1.174.583.842	678.350.712
Muaratawar	960	1.089.282.095	151.602.064
cirata	782	4.688.782,09	0
saguling	596,3	3.281.077,49	0
tanjung jati	1.557	474.808.307,86	195.890.767
gresik	354	241.855.229,93	65.484.570,70
paiton	4.340	1.310.798.289	927.056.828
grati	465,3	199.997.041,67	44194592,09
total	12228	4.499.294.666	2.062.579.534

Interval	Laju Perubahan Daya			Ramp rate	Keterangan
	Ke 1-2	Ke 2-3	ke 3-4		
suralaya	-300	-17,39	-55,5	300	sesuai
Muaratawa	5,85	-123,5	81,9	510	sesuai
Cirata	178,29	-74,7	16,59	930	sesuai
saguling	5,38	548,8	660,2	660	sesuai
tanjung jati	-421,6	22,4	-154,1	337	sesuai
gresik	368,9	-61,7	-1,6	420	sesuai
paiton	-8,2	-100	78,4	240	sesuai
grati	65,7	51,1	9,1	240	sesuai

### Kondisi 3

Jam ke 1	Daya (MW)	Cost(Rupiah/jam)	Emisi (Gram/jam)
Suralaya	2.835	1.064.719.280	631.999.634
Muaratawar	1.102	1.182.840.828	164.433.786
cirata	835	5.010.342,94	0
saguling	520,5	2.864.022,81	0
tanjung jati	2.101	614.252.860,80	264.961.877
gresik	820,8	460.604.327,91	98.824.902,55
paiton	4.518	1.348.245.195	923.418.305
grati	363,8	161.567.636,74	49296545,72
total	13096	4.840.104.494	2.132.935.051

Jam ke 2	Daya (MW)	Cost(Rupiah/jam)	Emisi (Gram/jam)
Suralaya	3.013	1.122.610.646	666.362.985
Muaratawar	1.111	1.188.796.419	165.261.708
cirata	941	5.643.370	0
saguling	659,2	3.626.697,40	0
tanjung jati	2.332	679.890.898	292.759.516
gresik	488,7	304.602.113,78	65353870,91
paiton	4.073	1.252.383.055	857.761.959
grati	491	209.750.365	63.997.770,99
total	13108	4.767.303.564	2.111.497.810

Jam ke 3	Daya (MW)	Cost(Rupiah/jam)	Emisi (Gram/jam)
Suralaya	2.938	1.098.274.593	651.917.509
Muaratawar	987	1.106.669.889	153.844.821
cirata	800	4.799.275,87	0
saguling	490	2.695.813,48	0
tanjung jati	2.304	671.864.016,85	289.304.120
gresik	560,6	338.233.029,70	72569547,71
paiton	4.376	1.318.413.796	902.986.666
grati	408,2	178.347.360,82	54.416.274,70
total	12863	4.719.297.775	2.125.038.940

Jam ke 4	Daya (MW)	Cost(Rupiah/jam)	Emisi (Gram/jam)
Suralaya	2.852	1.070.297.700	635.310.892
Muaratawar	940	1.075.433.935	149.502.530
cirata	961	5.766.227,79	0
saguling	428,1	2.355.198,97	0
tanjung jati	2.053	601.077.403,83	259.516.150
gresik	590,5	352.252.815,78	75.577.560,98
paiton	4.005	1.236.964.845	847.201.968
grati	398,7	174.765.273,00	53323329,52
total	12228	4.518.913.399	2.020.432.430

Interval	Laju Perubahan Daya			Ramp rate	Keterangan
	Ke 1-2	Ke 2-3	ke 3-4		
suralaya	-177,2	74,8	85,5	300	sesuai
Muaratawar	-9	124,2	47,1	510	sesuai
Cirata	-105,5	140,69	-161,09	930	sesuai
saguling	-138,7	169,2	61,9	660	sesuai
tanjung jati	-444,3	-302,9	-29,9	337	sesuai
gresik	-332,1	-61,7	307,6	420	sesuai
paiton	-230,9	27,5	9,5	240	sesuai
grati	-127,2	-127,2	251,59	420	sesuai

Jam ke 1	Daya (MW)	Cost(Rupiah/jam)	Emisi (Gram/jam)
Suralaya	1.828	722.471.310	428.846.938
Muaratawar	1.673	1.558.776.107	216.694.735
cirata	967	5.804.085,17	0
saguling	607,8	3.344.257,99	0
tanjung jati	2.273	662.856.418,84	285.444.353
gresik	752,3	428.290.838,25	91.891.887,29
paiton	4.419	1.327.474.071	9.091.920.831
grati	575,6	241.944.921,09	738207804,5
total	13096	4.950.962.009	2.005.890.776

Jam ke 2	Daya (MW)	Cost(Rupiah/jam)	Emisi (Gram/jam)
Suralaya	1.920	813.581.142	482.928.217
Muaratawar	1.379	1.396.387.684	194.120.176
cirata	1.006	5.509.135	0
saguling	667,1	3.771.819,58	0
tanjung jati	2.530	750.250.252	323.643.771
gresik	501,4	352.565.622,49	75644675,18
paiton	4.661	1.284.701.876	879.897.243
grati	443,7	162.959.661	49.721.271,77
total	13108	4.749.212.159	2.025.118.669

Jam ke 3	Daya (MW)	Cost(Rupiah/jam)	Emisi (Gram/jam)
Suralaya	2.090	813.581.142	482.928.217
Muaratawar	1.426	1.396.387.684	194.120.176
cirata	918	5.509.134,98	0
saguling	685,5	3.771.819,58	0
tanjung jati	2.566	750.250.251,76	323.643.771
gresik	591,2	352.565.622,49	75.644.675,18
paiton	4.219	1.284.701.876	879.897.243
grati	367,5	162.959.660,78	49.721.271,77
total	12863	4.769.727.192	2.005.955.354

Jam ke 4	Daya (MW)	Cost(Rupiah/jam)	Emisi (Gram/jam)
Suralaya	1.812	716.729.242	425.438.542
Muaratawar	1.045	1.145.445.339	159.235.222
cirata	977	5.860.641,42	0
saguling	562,7	3.095.741,59	0
tanjung jati	2.090	611.267.680,57	263.723.852
gresik	627,1	369.429.135,69	79.262.823,85
paiton	4.400	1.323.544.462	906.500.679
grati	714,8	295.135.081,83	90.049.841,50
total	12228	4.470.507.325	1.924.210.961

Tabel 4.22. Laju Perubahan Daya Kondisi 4

Interval	Laju Perubahan Daya			Ramp rate	Keterangan
	Ke 1-2	Ke 2-3	ke 3-4		
suralaya	-92,29	-169,6	278,2	300	sesuai
Muaratawar	294	-46,5	380,6	510	sesuai
Cirata	-38,89	88	-58,6	930	sesuai
saguling	-59,3	441,09	475,7	660	sesuai
tanjung jati	-265,5	-36,09	122,8	337	sesuai
gresik	250,9	-89,8	-35,9	420	sesuai
paiton	-242	-18,4	-180,4	240	sesuai
grati	131,9	76,2	347,3	420	sesuai

Jam ke 1	Daya (MW)	Cost(Rupiah/jam)	Emisi (Gram/jam)
Suralaya	2.650	1.003.400.940	595.602.089
Muaratawar	2.307	1.971.035.900	274.005.365
cirata	971	58.285.873.975,37	0
saguling	698	38.403.037.844,65	0
tanjung jati	2.361	688.355.417,67	296.419.158
gresik	445,8	284.592.907,99	61.060.798,18
paiton	3.208	1.043.824.873	714.919.663
grati	455,3	196.202.436,91	59.864.108,51
total	13096	5.197.081.367	2.001.871.181

Jam ke 2	Daya (MW)	Cost(Rupiah/jam)	Emisi (Gram/jam)
Suralaya	2.453	937.375.486	556.410.478
Muaratawar	2.136	1.860.460.221	258.633.597
cirata	1.003	6.019.473	0
saguling	608,4	334.764.766,00	0
tanjung jati	2.324	677.473.927	291.717.509
gresik	781,9	442.241.412,70	94.885.050,40
paiton	3.269	1.059.291.302	725.512.679
grati	533,4	225.879.913	68.919.121,90
total	13108	5.212.089.382	1.996.078.436



Jam ke 3	Daya (MW)	Cost(Rupiah/jam)	Emisi (Gram/jam)
Suralaya	2.473	944.071.294	560.384.999
Muaratawar	2.219	1.914.148.349	266.097.096
cirata	988	593.011,43	0
saguling	625,7	3.442.737,51	0
tanjung jati	2.346	684.075.664,56	294.566.790
gresik	645,4	378.028.564,50	81.107.873,03
paiton	2.851	949.114.916	650.052.450
grati	715,3	295.340.097,57	90.112.394,67
total	12863	5.174.151.738	1.942.321.602

Jam ke 4	Daya (MW)	Cost(Rupiah/jam)	Emisi (Gram/jam)
Suralaya	2.446	935.239.003	555.142.298
Muaratawar	2.247	1.932.473.541	268.644.587
cirata	959	5.754.364,00	0
saguling	596,9	3.284.165,88	0
tanjung jati	2.584	755.950.288,90	326.189.640
gresik	612,2	36.242.852.121,00	77.760.808,02
paiton	2.154	750.444.248	513.982.148
grati	628,2	262.014.435,52	79.944.269,81
total	12228	5.007.588.567	1.821.663.751

**Tabel 4.27.** Laju Perubahan Daya Pada Kondisi 5

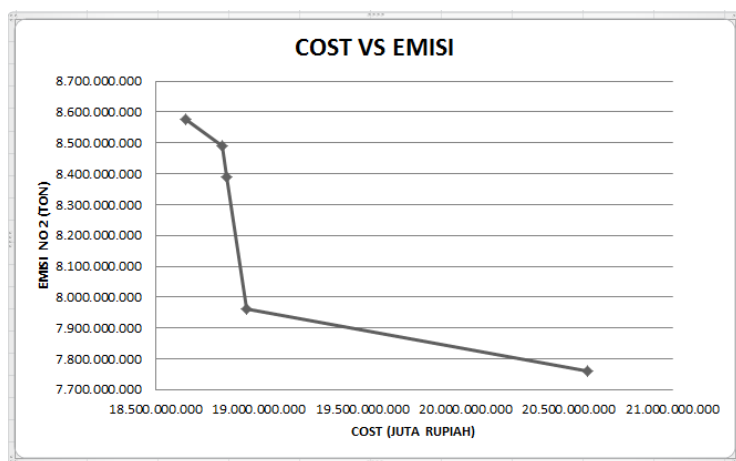
Interval	Laju Perubahan Daya			Ramp rate	Keterangan
	Ke 1-2	Ke 2-3	ke 3-4		
suralaya	197,09	-19,89	26,3	300	sesuai
Muaratawar	170,5	-82,7	-28,2	510	sesuai
Cirata	-31,8	14,8	696,6	930	sesuai
saguling	89,59	-17,3	28,8	660	sesuai
tanjung jati	37,1	-22,6	-238	337	sesuai
gresik	-336,1	418	33,2	420	sesuai
paiton	-60,3	136,5	29,3	240	sesuai
grati	-78,1	-181,9	87,1	420	sesuai

*Halaman ini sengaja di kosongkan*

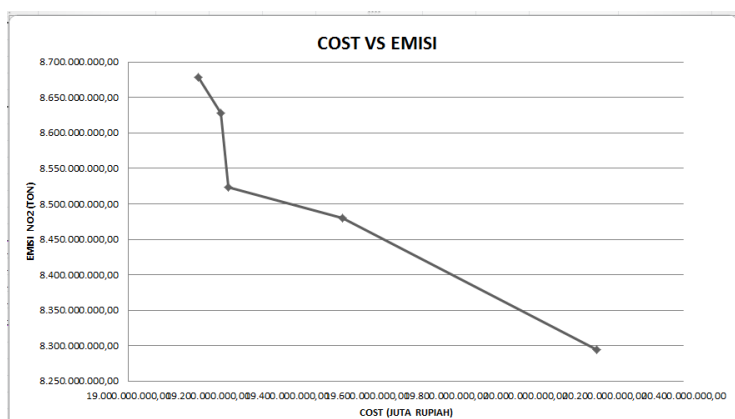
## LAMPIRAN C

Hasil 4 Jam PSO

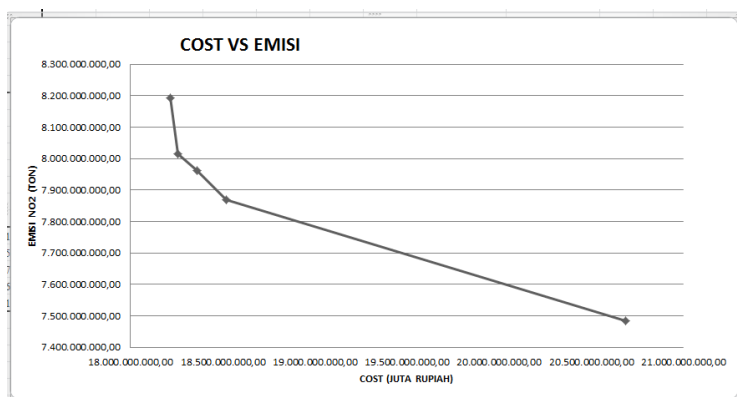
Kondisi	Cost (Juta/4h)	Emisi NO2(%)
1	18.645.856.084	8.577.297.435
2	18.824.261.922	8.489.371.514
3	18.845.619.232	8.389.904.230
4	18.940.408.685	7.961.175.761
5	20.590.911.053	7.761.934.970



Kondisi	Cost (Juta/4h)	Emisi NO2(%)
1	19.176.042.873,96	8.677.881.402,00
2	19.233.587.743,28	8.628.485.188,00
3	19.251.392.530,31	8.523.037.291,00
4	19.539.173.481,41	8.480.266.373,00
5	20.181.370.522,79	8.294.551.135,00



Kondisi	Cost (Juta/4h)	Emisi NO2(%)
1	18.216.288.249,58	8.192.906.672,00
2	18.257.877.005,29	8.015.324.665,00
3	18.360.863.935,00	7.962.234.620,00
4	18.517.976.626,02	7.868.965.431,00
5	20.685.607.922,52	7.484.509.831,00



Kondisi		Cost	Emisi	Emisi yang	Penambahan
Wc	Ws	(Juta/4h)	NO2(%)	dapat dikurangi	emisi dalam (%)
1	0	18.645,85	8.577,29	0	0
0.75	0.25	18.824,21	8.489,37	87,92	1,02
0.5	0.5	18.845,61	8.389,94	187,35	2,18
0.25	0.75	18.940,40	7.961,17	616,12	7,18
0	1	20.590,91	7.761,93	815,36	9,5

**Tabel 4.32.** Pengurangan Emisi dengan Metode *Firefly*

Kondisi		Cost	Emisi	Emisi yang	Pengurangan
Wc	Ws	(Juta/4h)	NO2(%)	dapat dikurang	emisi dalam(%)
1	0	19.176,04	8.677,88	0	0
0.75	0.25	19.233,58	8.628,48	49,4	2,16
0.5	0.5	19.251,39	8.523,03	154,85	2,81
0.25	0.75	19.539,17	8.480,26	197,62	3,95
0	1	20.181,37	8.294,55	383,33	8,64

Kondisi		Cost	Emisi	Emisi yang	Penambahan
Wc	Ws	(Juta/4h)	NO2(%)	dapat dikurang	emisi dalam (%)
1	0	18.216,29	8.192,90	0	0
0.75	0.25	18.257,88	8.015,32	177,58	0,57
0.5	0.5	18.360,86	7.962,23	230,67	1,78
0.25	0.75	18.517,98	7.868,96	323,94	2,28
0	1	20.685,61	7.484,51	708,39	4,42